



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI PENAMBAHAN *HYBRID SFCL*  
(*SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER*)  
DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA IIB**

Erwin Dwi Purwandani  
NRP 2214105069

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**STUDY ADDITION OF HYBRID SFCL  
(SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)  
AT PT. PUPUK SRIWIDJAJA IIB**

Erwin Dwi Purwandani  
NRP 2214105069

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **STUDI PENAMBAHAN *HYBRID SFCL (SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)* DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA IIB**, adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Erwin Dwi Purwandani  
Nrp. 2214105069

**STUDI PENAMBAHAN *HYBRID* SFCL  
(*SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER*)  
DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA IIB**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing 1**

**Dosen Pembimbing 2**

**Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.  
NIP. 1966 03 18 1990 10 1 001**

**Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.  
NIP. 1981 09 05 2005 01 1 002**

**SURABAYA  
JANUARI, 2017**

**JURUSAN  
TEKNIK ELEKTRO**

**STUDI PENAMBAHAN *HYBRID* SFCL  
(*SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER*)  
DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA IIB**

**Nama Mahasiswa** : Erwin Dwi Purwandani  
**Nrp** : 2214105069  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**NIP** : 196603181990101001  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.  
**NIP** : 198109052005011002

**ABSTRAK**

Pada tahun 2013 PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) telah membangun pabrik baru yaitu Pusri IIB yang menggantikan Pusri II. Pada Pusri IIB koordinasi rele proteksi pada jaringan masih buruk dan apabila dibiarkan dapat menyebabkan kegagalan sistem kelistrikan. Untuk itu perlu koordinasi ulang rele arus lebih dan membatasi arus saat gangguan, dengan tujuan koordinasi proteksi lebih mudah dilakukan. Cara membatasi kenaikan arus gangguan adalah dengan menggunakan *Hybrid* SFCL (*Superconducting Fault Current Limiter*). Arus gangguan yang terjadi dapat direduksi dengan memanfaatkan reaktansi dari *Current Limiting Reactor* (CLR) yang terhubung parallel dengan superconductor. Pemasangan *Hybrid* SFCL akan ditempatkan pada *feeder* antara Bus STG1 dengan SG-61 dan Bus T-STG1 dengan SG-61 karena memiliki nilai arus hubung singkat yang besar dan karena nilai arus kontribusi yang hampir sama. Sebelum dilakukan pemasangan *Hybrid* SFCL, saat gangguan antara Bus SG-61 dengan Bus STG1 nilai arus kontribusi pada Bus T-STG1 dengan SG-61 sebesar 16,98kA dan saat gangguan antara Bus SG-61 dengan Bus T-STG1 nilai arus kontribusi pada Bus STG1 dengan SG-61 sebesar 21,46kA. Setelah dilakukan pemasangan *Hybrid* SFCL nilai arus kontribusi pada Bus T-STG1 dengan SG-61 menjadi 7,15Ka dan nilai arus kontribusi pada Bus STG1 dengan SG-61 sebesar 8 Ka. Setelah pemasangan *Hybrid* SFCL pada jaringan arus kontribusi menjadi berkurang sehingga perlu seting ulang rele. Untuk melihat hasil dari pemasangan *Hybrid* SFCL dan pengaruh pada sistem koordinasi proteksi maka akan disimulasikan.

Kata Kunci: *Hybrid* SFCL, Rele Arus Lebih, Koordinasi Proteksi

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*

**STUDY ADDITION OF HYBRID SFCL  
(SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER)  
AT PT. PUPUK SRIWIDJAJA IIB**

<b>Name</b>	<b>: Erwin Dwi Purwandani</b>
<b>Nrp</b>	<b>: 2214105069</b>
<b>Advisor I</b>	<b>: Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.</b>
<b>NIP</b>	<b>: 196603181990101001</b>
<b>Advisor II</b>	<b>: Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.</b>
<b>NIP</b>	<b>: 198109052005011002</b>

**ABSTRACT**

*In 2013 PT. Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) has built a new factory namely PUSRI IIB which replaces PUSRI II. In coordination IIB PUSRI protection relays on the network is still bad and if left unchecked can lead to failure of the electrical system. It is necessary for the coordination of overcurrent relays and limit the current flow interruption, with the aim of coordinating protection easier. How to limit the increase in noise current is to use the Hybrid SFCL (Superconducting Fault Current Limiter). Flow disturbance can be reduced by utilizing the reactance of limiting Current Reactor (CLR) that is connected parallel with the superconductor. Installation Hybrid SFCL will be placed in the feeder between STG1 with SG Bus 61 and Bus T-STG1 with SG-61 because it has a large short-circuit current and for current values are almost equal. Prior to the installation of hybrid SFCL, when interference between Bus SG-61 with Bus STG1 value of current contributions to the Bus T-STG1 with SG-61 for 16,98kA and when the interference between Bus SG-61 with Bus T-STG1 value of current contributions to the Bus STG1 with SG-61 for 21,46kA. After the installation of Hybrid SFCL value of current contributions to the Bus T-STG1 with SG-61 into 7,15Ka and the value of current contributions to the Bus STG1 with SG-61 at 8 Ka. After the installation of Hybrid SFCL on the network stream the contribution to be reduced so that the necessary re-setting relay. To view the results of the installation of Hybrid SFCL and influence on the coordination of protection systems will be simulated.*

*Keywords: Hybrid Superconducting Fault Current Limiter, Overcurrent relay, Protection Coordination*

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil 'Alamin*, terucap syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Penambahan Hybrid SFCL (*Superconducting Fault Current Limiter*) Di PT. Pupuk Sriwidjaja IIB**

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang masih memperkenankan kepada penulis terlebih lagi atas kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta dan keluarga yang telah memberikan dorongan semangat baik moral maupun material.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Dr. Dimas Anton Asfani ST., MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya.
4. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
5. Teman-teman Lintas Jalur angkatan 2014 yang banyak membantu dan selalu memberikan semangat. Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat menambah ilmu dan wawasan bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan di masa yang akan datang.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*

# DAFTAR ISI

## JUDUL

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

## LEMBAR PENGESAHAN

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii

## BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Permasalahan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	2
1.5. Metode Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
1.7. Relevansi.....	4

## BAB II DASAR TEORI

2.1. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat .....	6
2.1.2 Gangguan Beban Lebih.....	6
2.2. Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	7
2.3. Sistem Pengaman Tenaga Listrik .....	9
2.3.1 Rele Arus Lebih ( <i>Overcurrent Relay</i> ).....	10
2.3.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu ( <i>Definite Tme</i> )	11
2.3.1.2 Rele Arus Lebih Seketika ( <i>Instantaneous</i> ) .....	12
2.3.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik ( <i>Invers</i> ) .....	12
2.4. <i>Superconductor Fault Current Limiter</i> (SFCL).....	14
2.5. <i>Hybrid Superconducting Fault Current Limiter</i> (SFCL).....	15
2.5.1 Kondisi Operasi Normal.....	17
2.5.2 Kondisi Ketika Terjadi Gangguan.....	18
2.6. Perhitungan <i>Desain Current Limiting Reactor</i> .....	19

## BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. PUPUK SRIWIDJAJA

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja .....	21
---	----

3.2	Kapasitas Pembangkitan PT. Pupuk Sriwidjaja .....	22
3.3	Sistem Distribusi PT. Pupuk Sriwidjaja .....	23
3.4	Data Beban PT. Pupuk Sriwidjaja .....	24

## **BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA**

4.1	Analisa <i>Tripping Sequence</i> .....	27
4.1.1	<i>Tripping Sequence</i> Rele <i>Existing</i> .....	28
4.2	<i>Setting</i> Ulang Rele Proteksi Tanpa SFCL .....	29
4.3	<i>Tripping Sequence</i> Rele Setelah <i>Setting</i> Ulang .....	39
4.4	<i>Setting</i> Ulang Pada Koordinasi Rele yang Salah .....	44
4.4.1	<i>Resetting</i> Gangguan <i>Case D</i> .....	44
4.4.2	<i>Resetting</i> Gangguan <i>Case F</i> .....	48
4.5	Pemasangan <i>Hybrid Superconducting Fault Current Limiter</i> (SFCL) .....	52
4.5.1	Cara Kerja <i>Hybrid</i> SFCL .....	53
4.5.2	Pemilihan Letak <i>Hybrid</i> SFCL .....	55
4.5.3	Penentuan Reaktansi <i>Current Limiter Reactor</i> (CLR) .....	56
4.6	<i>Setting</i> Ulang Rele Proteksi Setelah Penambahan 1 <i>Hybrid</i> SFCL .....	59
4.7	<i>Setting</i> Ulang Pada Koordinasi Rele yang Salah Setelah Penambahan 1 SFCL .....	67
4.7.1	<i>Resetting</i> Gangguan <i>case E</i> Setelah Penambahan 1 SFCL .....	67
4.8	Pemasangan 2 <i>Hybrid</i> SFCL .....	69
4.9	<i>Setting</i> Ulang Rele Proteksi Setelah Penambahan 2 <i>Hybrid</i> SFCL .....	73
4.10	<i>Tripping Sequence</i> Rele Setelah Penambahan 2 <i>Hybrid</i> SFCL .....	83

## **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	89
5.2	Saran .....	90

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	91
-----------------------------	----

<b>RIWAYAT PENULIS</b> .....	93
------------------------------	----

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Arah Aliran Arus Ketika Terjadi Gangguan Hubung Singkat .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Skema Konsep Kerja Rele .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika .....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse.....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Gelombang Pereduksian Arus Oleh SFCL.....	15
<b>Gambar 2.7</b>	Rangkaian <i>Hybrid Superconducting Fault Current Limiter</i> (SFCL) .....	16
<b>Gambar 2.8</b>	Kondisi Operasi Normal <i>Hybrid</i> SFCL.....	17
<b>Gambar 2.9</b>	Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan pada <i>Hybrid</i> SFCL .....	18
<b>Gambar 2.10</b>	Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif pada <i>Hybrid</i> SFCL .....	19
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> PT Pusri yang Disederhanakan .....	22
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Case</i> pengamatan <i>Tripping Sequence</i> PT PUSRI IIB .....	27
<b>Gambar 4.2</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada <i>Case A</i> .....	33
<b>Gambar 4.3</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada <i>Case B</i> .....	34
<b>Gambar 4.4</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada <i>Case C</i> .....	35
<b>Gambar 4.5</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada <i>Case D</i> .....	36
<b>Gambar 4.6</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada <i>Case E</i> .....	37
<b>Gambar 4.7</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada <i>Case F</i> .....	38
<b>Gambar 4.8</b>	<i>Tripping Sequence</i> Setelah <i>Setting</i> Ulang pada (a) <i>Case A</i> , (b) <i>Case B</i> , (c) <i>Case C</i> , (d) <i>Case D</i> , (e) <i>Case E</i> dan (f) <i>Case F</i> .....	44
<b>Gambar 4.9</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah <i>Resetting</i> pada <i>Case D</i> .....	45
<b>Gambar 4.10</b>	<i>Tripping Sequence</i> Setelah <i>Resetting</i> pada <i>Case D</i> .....	46
<b>Gambar 4.11</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah <i>Resetting</i> <i>Case D</i> pada <i>Case B</i> .....	47
<b>Gambar 4.12</b>	<i>Tripping Sequence</i> Setelah <i>Setting</i> Ulang pada <i>Case B</i> ..	48

<b>Gambar 4.13</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah <i>Resetting</i> pada <i>Case F</i> .....	49
<b>Gambar 4.14</b>	<i>Tripping Sequence</i> setelah <i>setting</i> ulang pada <i>Case F</i> ....	50
<b>Gambar 4.15</b>	Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah <i>Resetting Case F</i> pada <i>Case B</i> .....	51
<b>Gambar 4.16</b>	<i>Tripping Sequence</i> Setelah <i>Setting</i> Ulang pada <i>Case B</i> ..	52
<b>Gambar 4.17</b>	Arus pada Kondisi Normal .....	53
<b>Gambar 4.18</b>	Perbandingan Arus Gangguan Tanpa dan Dengan <i>Hybrid SFCL</i> .....	54
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik Proses Kerja <i>Hybrid SFCL</i> .....	55
<b>Gambar 4.20</b>	<i>Single Line Diagram</i> Pemasangan 1 <i>SFCL</i> .....	56
<b>Gambar 4.21</b>	Arus Kontribusi Setelah <i>Setting</i> Ulang pada <i>Case B</i> .....	57
<b>Gambar 4.22</b>	Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> pada <i>CaseB</i> .....	58
<b>Gambar 4.23</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> pada <i>Case A</i> .....	62
<b>Gambar 4.24</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> pada <i>Case B</i> .....	63
<b>Gambar 4.25</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> pada <i>Case D</i> .....	64
<b>Gambar 4.26</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> pada <i>Case F</i> .....	65
<b>Gambar 4.27</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> pada <i>Case E</i> .....	66
<b>Gambar 4.28</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> dan <i>Resetting</i> pada <i>Case E</i> .....	66
<b>Gambar 4.29</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> dan <i>Resetting case E</i> pada <i>Case F</i> .....	68
<b>Gambar 4.30</b>	<i>Tripping Sequence</i> Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> dan <i>Resetting</i> pada <i>Case F</i> .....	69
<b>Gambar 4.31</b>	Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 1 <i>SFCL</i> pada Gangguan <i>Case E</i> .....	70
<b>Gambar 4.32</b>	Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 2 <i>Hybrid SFCL</i> pada Gangguan <i>Case E</i> .....	71
<b>Gambar 4.33</b>	Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 2 <i>Hybrid SFCL</i> pada Gangguan <i>Case F</i> .....	72
<b>Gambar 4.34</b>	<i>Single Line Diagram</i> Setelah Pemasangan 2 <i>Hybrid SFCL</i> .....	73

<b>Gambar 4.35</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada <i>Case A</i> .....	77
<b>Gambar 4.36</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada <i>Case B</i> .....	78
<b>Gambar 4.37</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada <i>Case C</i> .....	79
<b>Gambar 4.38</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada <i>Case D</i> .....	80
<b>Gambar 4.39</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada <i>Case E</i> .....	81
<b>Gambar 4.40</b>	Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada <i>Case F</i> .....	82
<b>Gambar 4.41</b>	<i>Tripping Sequence</i> Setelah <i>Setting</i> Ulang dan Penambahan 2 <i>Hybrid</i> SFCL pada (a) <i>Case A</i> , (b) <i>Case B</i> , (c) <i>Case C</i> , (d) <i>Case D</i> , (e) <i>Case E</i> dan (f) <i>Case F</i> .....	88

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Kapasitas Pembangkit PT. PUSRI .....	23
<b>Tabel 3.2</b>	Data Bus Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri .....	23
<b>Tabel 3.3</b>	Data Transformator Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri IIB.....	24
<b>Tabel 3.4</b>	Data Tie Transformator Pada PT. PUSRI .....	24
<b>Tabel 3.5</b>	Data Beban Pusri IIB Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang .....	25
<b>Tabel 4.1</b>	Data <i>Tripping Time</i> Rele <i>Existing</i> .....	28
<b>Tabel 4.2</b>	Data Setelan Rele Setelah <i>Setting</i> Ulang .....	29
<b>Tabel 4.3</b>	Data Setelan Rele Setelah Penambahan 1 <i>Hybrid</i> SFCL ...	59
<b>Tabel 4.4</b>	Data Setelan Rele Setelah Penambahan 2 <i>Hybrid</i> SFCL ...	73

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) adalah perusahaan yang didirikan sebagai pelopor produsen pupuk urea di Indonesia pada tanggal 24 Desember 1959 di Palembang Sumatera Selatan, dengan nama PT. Pupuk Sriwidjaja (Persero). Pusri memulai operasional usaha dengan tujuan utama untuk melaksanakan dan menunjang kebijaksanaan dan program pemerintah di bidang ekonomi dan pembangunan nasional, khususnya di industri pupuk dan kimia lainnya.

Pada tahun 2013 PT. Pupuk Sriwidjaja (Pusri) telah membangun pabrik baru yaitu Pusri IIB yang menggantikan Pusri II. Pada Pusri IIB koordinasi rele proteksi pada jaringan masih buruk dan apabila dibiarkan dapat menyebabkan kegagalan sistem kelistrikan. Dalam sistem tenaga listrik diperlukan sistem proteksi yang dapat menjamin keandalan dan kesinambungan penyaluran. Koordinasi proteksi yang tepat merupakan salah satu faktor keandalan sistem tenaga listrik. Pengaturan peralatan pengaman tenaga listrik saat terjadi gangguan mempengaruhi kelangsungan penyaluran daya. Diperlukan pengaturan yang tepat agar dapat memutus arus gangguan dititik terjadinya gangguan. Respon dari peralatan pengaman yang salah dapat menyebabkan keandalan sistem menurun karena pemutusan tidak berada pada titik gangguan yang seharusnya.

Agar koordinasi rele pada Pusri IIB dapat berjalan dengan baik, maka perlu koordinasi ulang rele arus lebih dan membatasi arus saat gangguan dengan tujuan koordinasi proteksi lebih mudah dilakukan. Untuk membatasi besarnya arus gangguan hubung singkat yaitu dengan memasang impedansi tambahan salah satunya dengan menggunakan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL). SFCL diletakkan pada *feeder* yang memiliki arus hubung singkat terbesar. Ketika keadaan normal SFCL bertindak seperti *feeder* sedangkan ketika terjadi gangguan SFCL akan mereduksi arus gangguan menggunakan impedansi yang ada pada *Current Limiting Reactor* (CLR). Analisa hubung singkat serta studi koordinasi dalam bentuk kurva *time current characteristic* (TCC) disimulasikan.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prinsip kerja *Hybrid* SFCL.
2. Bagaimana pengaturan *Hybrid* SFCL yang tepat untuk membatasi arus gangguan hubung singkat yang tinggi.
3. Bagaimana koordinasi proteksi rele arus lebih setelah pemasangan *Hybrid* SFCL.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Simulasi dan analisa menggunakan software simulasi.
2. Pemasangan *Hybrid* SFCL pada busbar yang terhubung secara *ring* di PT. Pupuk Sriwidjaja IIB untuk membatasi arus hubung singkat.
3. Koordinasi Proteksi yang dilakukan adalah koordinasi proteksi rele arus lebih untuk gangguan tiga fasa.

## 1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja *Hybrid* SFCL.
2. Mengetahui *setting* *Hybrid* SFCL untuk membatasi arus yang mengalir ke titik gangguan.
3. Mengetahui cara koordinasi rele arus lebih untuk gangguan fasa setelah pemasangan *Hybrid* SFCL di PT. Pupuk Sriwidjaja IIB.

## 1.5 Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur  
Mencari literatur dan ide yang berhubungan dengan tugas akhir. Literatur yang diperlukan meliputi karakteristik *Hybrid* SFCL, analisa hubung singkat 3 fasa serta koordinasi rele arus lebih pada sistem kelistrikan.
2. Pengumpulan Data  
Melakukan pengumpulan data-data mengenai sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja IIB yang meliputi *single line diagram* serta data-data peralatan seperti *rating* generator, trafo, motor, bus dan lainnya.

3. Pemodelan Sistem dan Simulasi  
Melakukan simulasi dengan menggunakan *software*.
4. Analisa Data Arus Hubung Singkat  
Membahas nilai arus hubung singkat yang terjadi pada masing-masing bus yang terpasang pada Pusri IIB.
5. Penarikan Kesimpulan  
Memberikan kesimpulan mengenai pemakaian *Hybrid SFCL* sebagai pereduksi arus hubung singkat yang tepat pada sistem kelistrikan Pusri IIB.

## **1.6 Sistematika Pembahasan**

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

**BAB I : Pendahuluan**

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

**BAB II : Dasar Teori**

Bab ini secara garis besar membahas sistem kelistrikan industri, arus hubung singkat, penjelasan mengenai sistem pengaman, gangguan elektrik yang terjadi pada sistem kelistrikan.

**BAB III : Sistem Kelistrikan**

Bab ini membahas sistem kelistrikan industri dan spesifikasi beban pada Pusri IIB.

**BAB IV : Simulasi dan Analisa**

Bab ini membahas data hasil arus gangguan hubung singkat pada *feeder* yang disimulasikan kemudian menentukan koordinasi setelah pemasangan *Hybrid SFCL* dengan rele arus lebih.

**BAB V : Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

## **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi bagi perusahaan di bidang industri untuk mendesain dan menggunakan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) untuk membantu koordinasi rele proteksi dengan membatasi arus yang mengalir pada *feeder* saat terjadi gangguan.
2. Dapat dijadikan referensi untuk pengembangan pemodelan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL).

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik[1]**

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan suatu keadaan tidak normal yang mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Berdasarkan asalnya, terdapat dua macam gangguan yaitu:

1. Gangguan berasal dari dalam sistem

Penyebab Gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain disebabkan oleh kesalahan mekanis yaitu terjadi karena proses penuaan atau karena kerusakan material seperti kawat putus, isolator pecah, retaknya bearing, dll, Pemasangan yang kurang baik, Tegangan dan arus tidak normal pada sistem serta beban yang melebihi kapasitas sistem.

2. Gangguan berasal dari luar sistem

Gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir, pengaruh lingkungan antara lain pohon tumbang, benda asing jatuh, dan juga akibat kecerobohan manusia. Pada gangguan surja petir dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).

3. Faktor Manusia

Faktor ini terutama menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya kesalahan dalam menyambung rangkaian, kesalahan dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman.

Berdasarkan sifat gangguan, maka jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Gangguan sementara (*temporary*)

Merupakan gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau pada bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya.

2. Gangguan permanen (*stationary*)

Merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga telah terbuka. Untuk menghilangkan gangguan permanen diperlukan tindakan perbaikan pada titik penyebab gangguan tersebut.

### **2.1.1 Gangguan Hubung Singkat[2]**

Gangguan ini disebabkan adanya saluran fasa yang terhubung dengan saluran fasa lainnya atau terhubung dengan *ground*. Gangguan ini dapat menyebabkan terjadinya arus yang sangat besar sehingga dapat merusak peralatan listrik yang ada di sekitar titik gangguan. Besarnya arus gangguan hubung singkat dapat ditentukan berdasarkan impedansi dari peralatan listrik pada sistem tersebut. Gangguan hubung singkat sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu:

#### **Gangguan hubung singkat simetri[3]**

Gangguan hubung singkat simetri atau disebut gangguan hubung singkat seimbang yaitu gangguan yang terjadi pada semua fasanya, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif.

#### **Gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri)[3]**

Gangguan hubung singkat asimetri atau disebut gangguan tidak seimbang terjadi pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa ketanah, dan hubung singkat dua fasa. Gangguan hubung singkat ini dapat mengakibatkan arus yang sangat besar pada fasa yang mengalami gangguan dan juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Kebanyakan gangguan hubung singkat yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan asimetri dapat menyebabkan mengalirnya arus tidak seimbang pada suatu sistem kelistrikan sehingga untuk analisa gangguan ini dengan menggunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus dan tegangan pada semua bagian sistem kelistrikan.

### **2.1.2 Gangguan Beban Lebih (*Over Load*)**

Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat konsumsi daya listrik melebihi daya listrik yang dihasilkan pada pembangkit. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.





terjadi pada sistem dan pengaman peralatan pada sistem tenaga listrik. Berikut adalah perhitungan untuk menghitung besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada sistem distribusi :

- Gangguan hubung singkat tiga fasa  
Gangguan hubung singkat ini merupakan gangguan hubung singkat yang menghasilkan arus hubung singkat terbesar (arus hubung singkat maksimum) dibanding gangguan hubung singkat lainnya. Gangguan ini melibatkan ketiga fasanya. Berikut persamaan arus hubung singkat tiga fasa ( $I_{hs3\phi}$ ) :

$$I_{hs3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$V_{LN}$  adalah tegangan *line to netral*, dan

$X_1$  adalah reaktansi urutan positif

- Gangguan hubung singkat antar fasa  
Gangguan hubung singkat ini terjadi karena adanya hubung singkat antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Gangguan ini yang menghasilkan arus hubung singkat minimum. Berikut persamaan arus hubung singkat antar fasa ( $I_{hs2\phi}$ ) :

$$I_{hs2\phi} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{X_1 + X_2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Masing-masing reaktansi urutan positif dan negatifnya mempunyai nilai yang sama, maka didapatkan :

$$I_{hs2\phi} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2X_1} \approx 0.86 I_{hs3\phi} \dots\dots\dots(2.3)$$

- Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah  
Gangguan hubung singkat ini terjadi akibat adanya hubung singkat salah satu fasa dengan tanah. Gangguan ini melibatkan reaktansi urutan nol ( $X_0$ ), dan besar dari gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah ini bisa dibatasi sesuai kemampuan dengan menggunakan sistem pentanahan yang baik. Berikut persamaan arus hubung singkat satu fasa ketanah ( $I_{hs1\phi}$ ) :

$$I_{hs1\phi} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots\dots\dots(2.4)$$

## 2.3 Sistem Pengaman Tenaga Listrik[1]

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memperhatikan faktor keamanan dan keandalan penyaluran daya. Pada kenyataannya suatu sistem dapat terjadi kondisi gangguan atau hubung singkat yang dapat membahayakan sistem secara keseluruhan serta dapat menurunkan keandalan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari gangguan tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.[1]

Rele adalah suatu peralatan pengaman pada sistem tenaga listrik yang bekerja dengan cara mendeteksi arus gangguan dan memerintahkan pemutus untuk bekerja agar memisahkan aliran daya antara area yang terkena gangguan dan area yang normal. Skema dari kerja rele pengaman ditampilkan pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Skema Konsep Kerja Rele [1]

Rele proteksi sebagai komponen utama sistem proteksi tenaga listrik dalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi gangguan harus memenuhi persyaratan keandalan (*reliability*) sebagai berikut:

1. Kecepatan bereaksi  
Semakin cepat waktu pemutusan arus gangguan maka dapat mengurangi dampak gangguan serta menjaga kestabilan sistem.
2. Sensitivitas  
Kemampuan dari rele pengaman untuk merespon adanya gangguan di dalam daerah yang diproteksinya. Rele harus cukup peka dalam mengidentifikasi adanya gangguan minimum.
3. Selektivitas  
Kemampuan rele pengaman untuk menentukan titik terjadinya gangguan serta melakukan pemutusan pada *breaker* secara tepat. Dalam hal ini rele hanya membuka pemutus tenaga yang diperlukan saja (tidak menyebabkan pemutusan/pemadaman jaringan yang lebih luas).

4. Keandalan  
Kemampuan sistem proteksi untuk menjamin peralatan proteksi akan bekerja jika terjadi suatu gangguan dan tidak akan bekerja jika tidak terjadi gangguan.
5. Ekonomis  
Pertimbangan pemilihan peralatan yang harus atau tidak untuk dipasang sebagai peralatan pengaman perlu direncanakan agar tercapai sistem pengaman yang efektif dan ekonomis.

### 2.3.1 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Rele arus lebih bekerja berdasarkan besarnya arus masukan dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur ( $I_{pp}$ ) maka rele arus lebih tersebut akan bekerja.

Rele arus lebih ini beroperasi ketika terdapat arus yang mengalir pada rangkaian melebihi batas *setting* yang telah di iijinkan. Penggunaan rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri harus di sesuaikan berdasarkan koordinasi rele yang telah di *setting* dengan benar. Sehingga ketika pada sistem terjadi suatu gangguan rele ini bisa bekerja dengan cepat. Rele arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_f > I_{pp} & \text{ rele bekerja (trip)} \\ I_f < I_{pp} & \text{ tidak bekerja (blok)} \\ I_f < I_{pp} & \text{ tidak bekerja (blok)} \end{aligned}$$

*Setting* rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting* harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada tugas akhir ini menggunakan  $1,05 - 1,4 I_{set}$ . Jadi untuk *setting* dapat dilihat pada persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 sebagai berikut:

$$1,05 \times I_{FLA} \leq I_{set} \leq 1,4 \times I_{FLA} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{nCT} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$I_{aktual} = I_{set} = Tap \times nCT \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana :

$I_{FLA}$  = arus nominal *full load ampere*  
 $Tap$  = arus *pick up setting* rele  
 $I_{set}$  = arus *setting* aktual  
 $nCT$  = rasio CT

Dicari nilai dibawahnya yang terdekat.

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum *setting*, untuk alasan keamanan dan *back up* hingga ke sisi muara estimasi *setting* ditetapkan seperti pada persamaan 2.8:

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}} \dots\dots\dots (2.8)$$

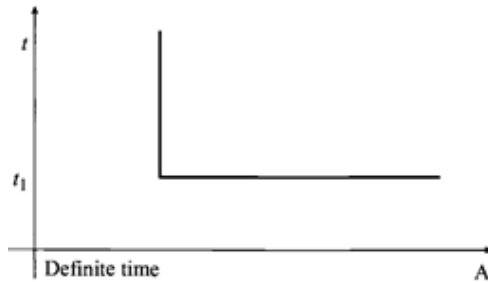
Isc minimum adalah arus hubung singkat 2 fasa (*line to line*) dengan pembangkitan minimum yang terjadi diujung saluran seksi berikutnya. Besar arus ini diperoleh dari arus hubung singkat 3 fasa pada pembangkitan minimum dikalikan 0,866. Mengacu pada konsep diatas persyaratan setelan arus dapat dirumuskan seperti persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$1,6 \times I_{FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus disetel untuk dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin. Untuk jenis rele arus yang lebih karakteristik *inverse*, *setting* waktunya ditentukan pada saat arus gangguan maksimum. Karakteristik waktu rele arus lebih dapat dibedakan dalam beberapa jenis antara lain:

**2.3.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)**

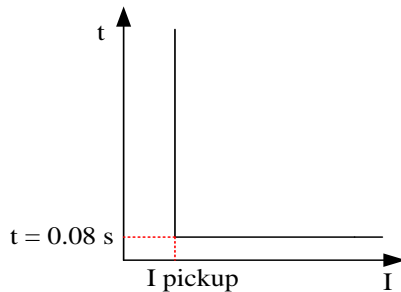
Pada penggunaan rele arus lebih waktu tertentu memungkinkan pengaturan waktu operasi yang bervariasi berdasarkan level arus yang berbeda. Sistem rele ini dapat disesuaikan sedemikian rupa sehingga PMT yang paling dekat dengan sumber gangguan akan bekerja (*trip*) lebih cepat daripada yang lain, dan pengaman sisanya akan trip lebih cepat daripada yang lain, dan pengaman sisanya akan *trip* setelah waktu tunda (*time delay*) yang diberikan gangguan masih terus berlanjut. Pada rele arus lebih waktu tertentu, semua level arus yang melebihi *pick-up setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.3 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



**Gambar 2.3** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

### 2.3.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous*)

Rele ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting*, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik. Karakteristik rele arus lebih seketika memiliki waktu operasi  $0,5\text{cycle}$  sampai  $2\text{ cycle}$  atau antara  $0,01\text{-}0,04$  detik[8]. Rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele tanpa penundaan waktu. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain. Gambar 2.4 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu seketika



**Gambar 2.4** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

### 2.3.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse*)

Rele arus lebih waktu terbalik memiliki batas *setting* yaitu rele tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga *setting* arus dari rele

ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan. Arus beban penuh suatu peralatan listrik tergantung dari besarnya kapasitas daya, tegangan, dan power faktor dari peralatan tersebut. Pada *British Standard* (BS)142 terdapat aturan faktor pengali arus beban penuh ketika *setting* rele arus lebih yaitu  $1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.4 I_{FLA}$ .

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik operasi rele *inverse* bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dapat dibedakan dalam beberapa kelompok:

Berdasar Standart IEC[2] Karakteristik operasi rele *very invers* sebagai berikut:

#### 1. *Very inverse*

Karakteristik *very inverse* memiliki kurva lebih curam dibanding kurva *inverse*. Karakteristik ini digunakan untuk koordinasi rele dengan perbedaan kapasitas arus gangguan di antara lokasi rele

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \cdot T_d \dots\dots\dots (2.10)$$

#### 2. *Standard inverse*

Karakteristik ini digunakan sebagai karakteristik standart untuk koordinasi antar rele.

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \cdot T_d \dots\dots\dots (2.11)$$

#### 3. *Extremely inverse*

Karakteristik ini lebih curam dibandingkan karakteristik *very invers*, digunakan untuk koordinasi dengan fuse di sisi bawah rele.

$$t = \frac{80}{(I^2 - 1)} \cdot T_d \dots\dots\dots (2.12)$$

#### 4. *Long Time inverse*

Karakteristik jenis *long time* memiliki waktu kerja yang cukup lama pada *setting* arus yang sama. Biasanya karakteristik ini digunakan untuk

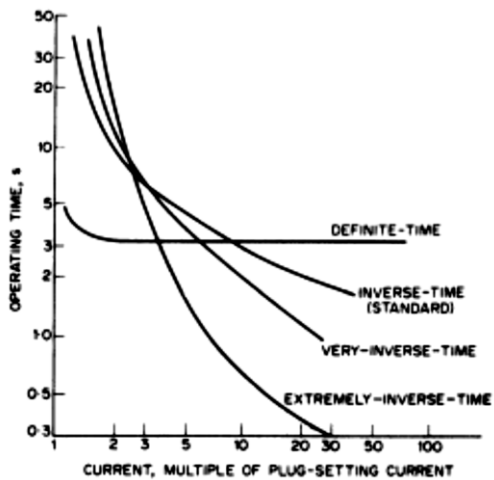
pengaman tahanan pentanahan trafo dan cadangan pengaman gangguan tanah.

$$t = \frac{120}{(I - 1)} \cdot T_d \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$$I = \frac{I_f}{I_{set}} \dots\dots\dots (2.14)$$

- If = arus hubung singkat maksimum
  - Iset = arus *setting* aktual rele
  - Td = time *setting* time dial
  - t = *seting time delay* yang diinginkan
- Untuk kurva karakteristiknya bisa dilihat gambar 2.5 :



**Gambar 2.5** Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse[8]

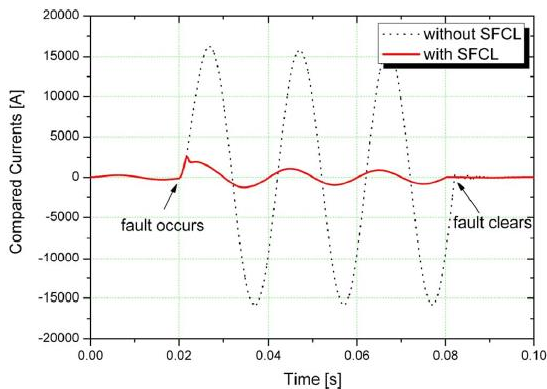
### 2.4 Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) [3]

*Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) merupakan suatu peralatan yang mampu membatasi arus gangguan yang muncul pada jaringan tenaga listrik [4]. Seiring meningkatnya kapasitas pembangkit serta bertambahnya beban pada sistem tenaga listrik maka akan menyebabkan meningkatnya arus gangguan yang terjadi. Hal ini akan



menyebabkan arus gangguan akan melebihi rating dari peralatan. Dengan menggunakan *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) maka arus gangguan yang terjadi akan dengan cepat dipotong dengan memanfaatkan impedansi dari *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL). *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) memiliki impedansi yang sangat rendah ketika dalam kondisi normal namun ketika dalam kondisi gangguan memiliki impedansi yang sangat tinggi.

Sebuah *Superconductor Fault Current limiter* (SFCL) dapat membatasi arus hubung singkat dalam waktu kurang dari setengah *cycle*. Ada dua kategori SFCL yaitu *resistive* SFCL dan *saturated ironcore* SFCL. Gambar 2.6 merupakan grafik dari pemotongan arus pada SFCL.



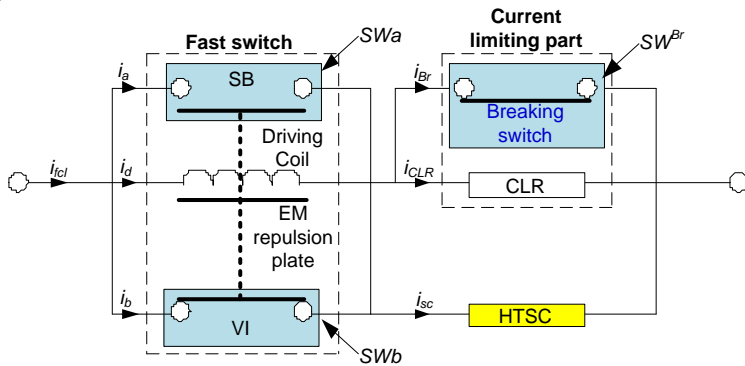
**Gambar 2.6** Gelombang Pereduksian Arus Oleh SFCL

## 2.5 *Hybrid Superconductor Fault Current Limiter* (SFCL) [4]

*Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) telah diketahui dapat memberikan solusi yang menjanjikan dalam membatasi arus gangguan pada sistem tenaga. Berbagai macam tipe SFCL telah dibuat dan menghasilkan pembatasan arus yang diinginkan pada mencapai rating tegangan menengah. *Hybrid* SFCL merupakan suatu peralatan yang mampu membatasi arus gangguan yang muncul pada jaringan tenaga listrik. Diadaptasi dari *Resistive* SFCL, pembatas arus tipe ini memiliki keunggulan yaitu kecilnya rugi daya yang diakibatkan oleh superkonduktor.

Pada *hybrid SFCL*, kemajuan luar biasa terletak pada bagian dimana *superconductor* tidak berfungsi sebagai pembatas arus hubung singkat namun hanya berfungsi sebagai *sensing* arus hubung singkat dan pengalih arus gangguan menuju *current limiting reactor* (CLR). *Fast switch* dapat beroperasi karena adanya gaya *electromagnetic repulsion* yang dibangkitkan oleh arus gangguan itu sendiri, bukan dari arus eksternal lainnya[7].

*Hybrid SFCL* secara garis besar terdiri dari 3 bagian utama yaitu *Fast switch*, bagian pembatas arus (*current limiting part*) dan *high temperature superconductor* (HTS) seperti yang ditampilkan pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Rangkaian *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)[5]

Struktur kompleks *hybrid SFCL* menggunakan *fast switch* (FS), yang terdiri dari dua saklar mekanis yaitu *vacuum interrupter* (VI) dan *short bar* (SB). Untuk menghindari kegagalan pemakaian dari FS akibat timbulnya busur api ketika pemadaman, maka perlu memasang peralatan tambahan *superconductor* yaitu *driving coil* dan *electromagnetic* (EM) *repulsion plate*. Pada *hybrid SFCL*, FS dimodelkan menjadi saklar dua arah (SWa dan SWb). SWa atau SB bekerja menutup berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju *driving coil* ketika terjadi arus gangguan. Begitu pula SWb atau VI bekerja membuka berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju *driving coil* ketika terjadi arus gangguan. Bagian pembatas arus terdiri dari saklar pemutus SWBr dan

*current limiter reactor* (CLR). Untuk mencapai arus yang cukup pada *driving coil* setelah HTSC mengalami peningkatan resistansi, SWBr tetap dalam kondisi menutup hingga arus mencapai *setting* dan menuju *driving coil*. Setelah SWa menutup dan SWb membuka maka SWBr diperintahkan untuk membuka.

Besarnya resistansi *superconductor* dalam hal ini HTSC terhadap waktu ditunjukkan pada persamaan (2.16). Dimana  $E(t,T)$  merupakan medan listrik yang berubah terhadap waktu dan temperatur.  $J(t)$  merupakan kerapatan arus yang berubah terhadap waktu. Sedangkan  $I_{sc}$  dan  $a_{sc}$  merupakan panjang dan luas *superconductor* yang digunakan. Besarnya nilai medan listrik yang berubah terhadap waktu dan temperatur ditunjukkan pada persamaan (2.17).

$$R_{sc} = \frac{E(t,T) I_{sc}}{J(t) a_{sc}} \dots\dots\dots (2.15)$$

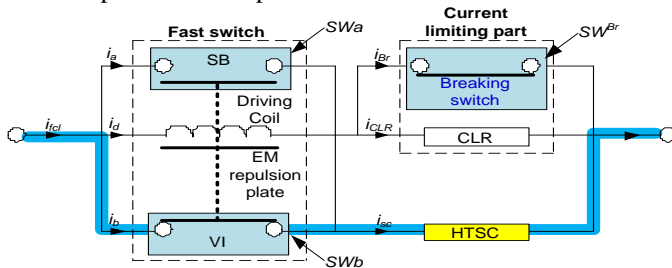
$$E(t, T) = \rho \left( \frac{T}{T_c} \right) J(t), \quad T(t) \geq T_c \dots\dots\dots (2.16)$$

Besarnya perubahan temperatur terhadap waktu dapat ditunjukkan pada persamaan (2.18).

$$T(t) = T_a + \frac{1}{c_{sc}} \int_0^t [Q_{sc}(t) - Q_{removed}(t)] dt \dots\dots (2.17)$$

### 2.5.1 Kondisi Operasi Normal

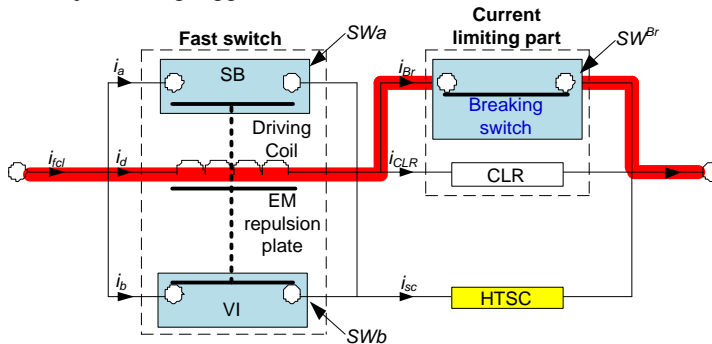
Pada saat kondisi normal arus mengalir melalui *vacuum interrupter* yang terhubung seri dengan HTSC. Pada kondisi normal, temperatur operasi *superconductor* dijaga pada keadaan 77 Kelvin. Pada kondisi ini HTSC memiliki impedansi sebesar 0 ohm seolah-olah menjadi suatu penghantar tanpa hambatan. Gambar 2.8 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi operasi normal.



**Gambar 2.8** Kondisi Operasi Normal *Hybrid SFCL*

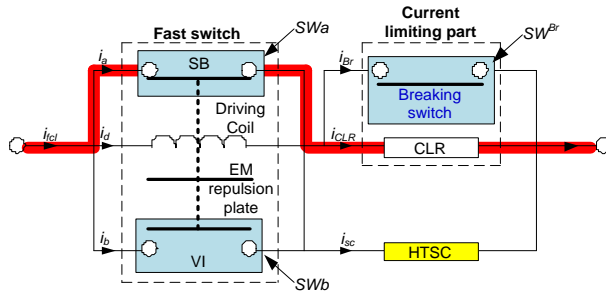
### 2.5.2 Kondisi Ketika Terjadi Gangguan

Ketika arus gangguan mengalir melalui HTSC dan menghasilkan panas mengakibatkan nilai resistansi HTSC meningkat mengakibatkan arus gangguan berganti arah menuju *drive coil* dan *breaking switch*. Gambar 2.9 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi sensing ketika terjadi arus gangguan.



**Gambar 2.9** Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan pada *Hybrid SFCL*

Ketika arus pada *drive coil* mencapai batas *setting* tertentu, maka kuat medan magnet yang dihasilkan *coil* akan mendorong SWa semula *normally open* menjadi *normally close* dan SWb yang semula *normally close* menjadi *normally open*. Sehingga arus gangguan akan mengalir melalui SWa dan CLR. Arus gangguan yang melalui CLR dibatasi sebelum  $\frac{1}{2}$  cycle pertama. Gambar 2.10 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi terjadi gangguan setelah coil aktif.



**Gambar 2.10** Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif pada *Hybrid SFCL*

## 2.6 Perhitungan *Desain Current Limiting Reactor*

Besarnya nilai impedansi pada *Hybrid SFCL* dihitung berdasarkan persamaan arus hubung singkat 3 fasa dan impedansi pada reaktor :

$$I_{sc} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \frac{1}{Z} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$Z = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \frac{1}{I_{sc}} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$Z_{desire} = Z_{sfcl} + Z_{system} \dots \dots \dots (2.20)$$

Selanjutnya substitusi persamaan 2.16 ke 2.17 dengan tujuan mencari nilai  $Z_{SFCL}$ , sehingga didapatkan persamaan 2.18

$$Z_{sfcl} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{I_{sc_{desire}}} - \frac{1}{I_{sc_{system}}} \right] \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

- $V_{bus}$  = rating tegangan bus *Hybrid SFCL* dipasang (V)
- $I_{SC \text{ desire}}$  = nilai arus kontribusi resetting yang diinginkan yang lewat pada *Hybrid SFCL* (A)
- $I_{SC \text{ system}}$  = nilai arus kontribusi *existing* yang lewat di saluran yang akan dipasang *Hybrid SFCL* (A)
- $Z_{SFCL}$  = nilai impedansi CLR yang diinginkan ( $\Omega$ )
- $Z_{desire}$  = nilai impedansi total (CLR + *existing*) ( $\Omega$ )
- $Z_{system}$  = nilai impedansi *existing* ( $\Omega$ )

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*

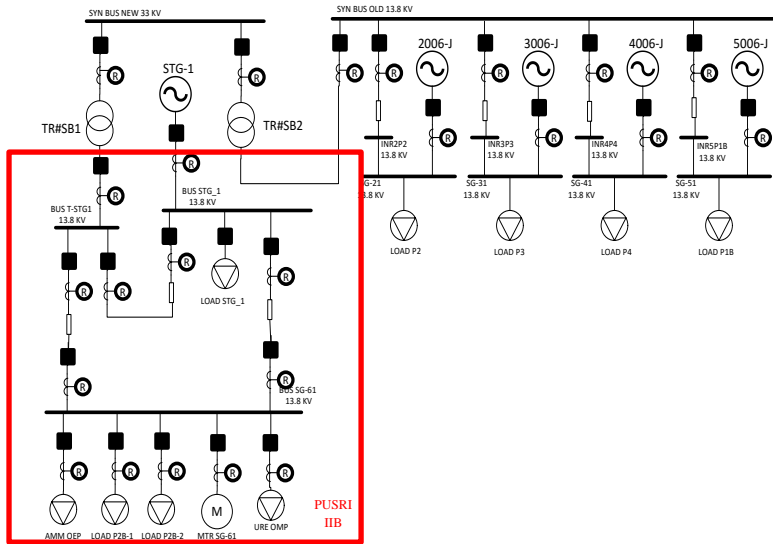
## **BAB III**

### **SISTEM KELISTRIKAN PT. PUPUK SRIWIDJAJA**

#### **3.1 Sistem Kelistrikan di PT. Pupuk Sriwidjaja**

PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak pada bidang produksi pupuk urea dan bahan kimia. Sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja ini cukup kompleks dan rumit seiring ditambahnya satu unit pabrik baru. Sehingga untuk analisis Tugas Akhir ini digunakan Single Line Diagram yang telah disederhanakan dengan merubah beban pada unit baru PT. Pupuk Sriwidjaja menjadi Lumped Load. PT. Pupuk Sriwidjaja mempunyai lima unit pabrik. Masing-masing unit pabrik memiliki pembangkit diantaranya Pusri I (Gen 2006-J) menyuplai daya sebesar 15MW, generator pada Pusri III (Gen 3006-J) menyuplai daya sebesar 15MW, Pusri IV menyuplai daya 15MW (Gen 4006-J), pada Pusri IB (Gen 5006-J) menyuplai daya sebesar 21,8MW, serta (Gen STG-1) yang menyuplai daya sebesar 39.95MW.

Sistem PT. Pupuk Sriwidjaja IIB terintegrasi dengan sistem ring 13.8MW untuk sistem yang existing. Seiring penambahan unit baru PT. Pupuk Sriwidjaja yakni Pusri IIB serta pembangkit STG-1 yang berkapasitas 39.95MW membuat perubahan sistem kelistrikan pada PT. Pusri sehingga membutuhkan penambahan *synchronous bus* baru dengan kapasitas 33 kV untuk menghubungkan jaringan baru dan jaringan lama. *Synchronous bus* ini bertujuan untuk mengurangi losses dalam penyaluran daya. Sistem ini memiliki kelebihan yaitu keandalan sistem yang cukup tinggi dalam penyaluran daya pada beban. Apabila terjadi gangguan pada salah satu bus, maka penyaluran daya tidak akan ada yang terputus karena daya dapat disalurkan melalui line yang lain. Namun kelemahan dari sistem ini yaitu sistemnya yang cukup kompleks dan biaya pembangunan serta biaya operasi yang cukup mahal. *Powerplant* yang semula terbagi atas empat bagian, kini berubah menjadi lima bagian dengan adanya Pusri IIB. Pembangkit STG-1 ini mensuplai daya untuk Pusri IIB dan mengalirkan daya ke jaringan kelistrikan yang lama. Berikut gambar 3.1 *single line diagram* dari sistem kelistrikan PT. Pupuk Sriwidjaja yang sudah disederhanakan.



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram* PT Pusri yang Disederhanakan

### 3.2 Kapasitas Pembangkitan PT. Pupuk Sriwidjaja

Untuk menanggung beban yang besar, PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang memiliki lima generator yang dihubungkan sinkron untuk memenuhi kebutuhan beban dan menambah kehandalan sistem. Semua unit pabrik dihubungkan agar tetap menjaga kontinuitas penyaluran daya ketika terjadi gangguan pada sistem. Berikut adalah tabel data kapasitas pembangkit pada PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.



**Tabel 3. 1** Kapasitas Pembangkit PT. PUSRI

UNIT	GENERATOR	KAPASITAS DAYA	KETERANGAN
PUSRI IIB	STG-1	39.95 MW	13.8 kV; pf 85%; 41 MVA; Eff 95%; 2 Poles; operating 21.823 MW
PUSRI II	2006-J	15 MW	13.8 kV; pf 85%; 17.6 MVA; Eff 95%; 2 Poles; operating 7.8 MW
PUSRI III	3006-J	15 MW	13.8 kV; pf 85%; 17.6 MVA; Eff 95%; 2 Poles; operating 7.6 MW
PUSRI IV	4006-J	15 MW	13.8 kV; pf 85%; 21.588 MVA; Eff 95%; 2 Poles; operating 7.7 MW
PUSRI IB	5006-J	21.8 MW	13.8 kV; pf 85%; 25.65 MVA; 95% eff; 2 Poles; operating 12 MW

### 3.3 Sistem Distribusi di PT. Pupuk Sriwidjaja

PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang menggunakan sistem distribusi radial untuk sistem kelistrikannya, dengan dua *synchronous bus* untuk menghubungkan jaringan kelistrikan lama dan jaringan kelistrikan baru. Terdapat tiga level tegangan pada sistem distribusi kelistrikan di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, seperti pada Tabel 3.2

**Tabel 3. 2** Data Bus Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	Lokasi	ID Bus	Tegangan Bus
1	Synchronous	Syn Bus New	33 kV
2		Syn Bus Old	13.8 kV
3	Pusri IIB	BUS_T-STG1	13.8 kV
4		STG_1	13,8 kV

No	Lokasi	ID Bus	Tegangan Bus
5	Pusri IV	SG-61	13,8 kV
6		INR2P2	13,8 kV
7		SG-41	13,8 kV
8		DS-4101*	13,8 kV
9		DS-4001 PIV	13,8 kV
10		MCC #48	2,4 kV
11	Pusri IB	SG-51	13,8 kV
12		MCC #51A	2,4 kV
13	Pusri II	SG-21	13,8 kV
14		MCC#2007	2,4 kV
15	Pusri III	SG-31	13,8 kV
16		MCC#311A	2,4 kV

Sistem kelistrikan PT Pusri IIB ditunjang oleh transformator untuk menurunkan tegangan sebelum masuk ke beban. Data transformator yang ada pada PT Pusri IIB ditunjukkan oleh Tabel 3.3.

**Tabel 3. 3** Data Transformator Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri IIB

No	ID	MVA	kV	%Z	Hubungan
1	TR-69	2,5	13,8/2,4	5,5	Delta - Wye
2	TR-61A	2	13,8/2,4	5,5	Delta - Wye
3	TR-63	2,75	13,8/2,4	5,5	Delta - Wye
4	TR-64	2,75	13,8/2,4	5,5	Delta - Wye

Selain transformator penurun daya, terdapat transformator penghubung (*Tie Transformer*) yang menghubungkan jaringan kelistrikan lama dengan jaringan kelistrikan baru. Data *Tie Transformer* ditunjukkan oleh Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4** Data *Tie Transformer* Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	ID	MVA	kV	%Z	Hubungan
1	T-Synbus-Old-New	40	33/13,8	12,5	Delta - Wye

### 3.4 Data Beban di PT Pusri IIB Palembang

Pusri mempunyai unit baru yakni Pusri IIB sehingga terdapat beban baru yang akan digunakan oleh PT Pusri Palembang. Data dari penambahan beban baru tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5

**Tabel 3. 5** Data Beban Baru Pusri IIB Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

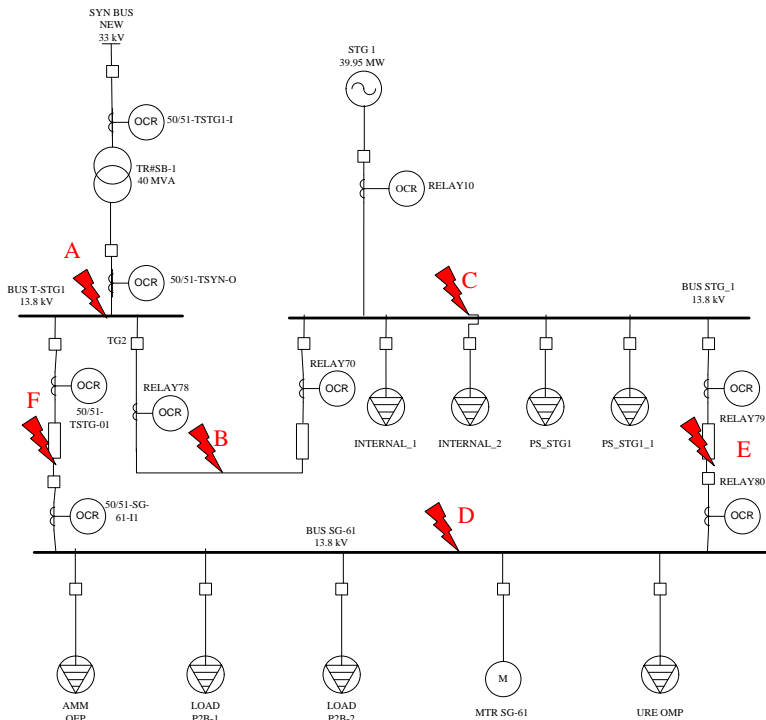
NO	ID BEBAN	RATIO		MW	PF	MVA
		MOTOR	STATIS			
1	AMM OEP	80	20	0.85	85	1
2	TO URE OMP	80	20	3.4	85	4
3	LUMP 17	80	20	1.27	85	1.5
4	LUMP 7	80	20	1.02	85	1.2
5	LUMP 10	80	20	1.4	85	1.65
6	LUMP 13	80	20	1.4	85	1.65
7	POWER FOR PORTAL	100		0.6	92.3	0.65
8	MTR 4	100		0.2	91.8	0.21
9	MTR6	100		0.6	92.3	0.65
10	MTR10	100		0.03	89.8	0.033
11	56-6604-V	100		0.11	91.6	0.12
12	55-6606-V	100		0.11	91.6	0.12
13	56-6601-V	100		0.11	91.6	0.12
14	55-6602-V	100		0.11	91.6	0.12
15	56-6603-V	100		0.07	91.8	0.07
16	55-6605-V	100		0.07	91.8	0.07
17	MTR24	100		0.002	83.9	0.002
18	MTR25	100		0.045	90.8	0.049
19	MTR26	100		0.045	90.8	0.049
20	MTR27	100		0.002	83.6	0.002
21	MTR28	100		0.045	90.8	0.049

*-Halaman ini sengaja dikosongkan-*

## BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA

### 4.1 Analisa Tripping Sequence

Pada Tugas Akhir ini penggunaan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) digunakan sebagai pembatas arus gangguan pada sistem pengamanan peralatan di PT PUSRI IIB. Untuk mengetahui akibat dari penggunaan SFCL pada koordinasi proteksi PT PUSRI IIB maka dilakukan analisa *tripping sequence* yang terdiri dari enam case (A-F) pada beberapa *feeder* seperti pada gambar 4.1. Untuk membandingkan *Tripping sequence* plan saat *existing* tanpa penambahan SFCL dan dengan penambahan SFCL. Pengamatan *tripping sequence* menggunakan *software* simulasi.



**Gambar 4.1** Case pengamatan *Tripping Sequence* PT PUSRI IIB

#### 4.1.1 Tripping Sequence Rele Existing

Penempatan gangguan pada Gambar 4.1 dilakukan berdasarkan arus *short circuit* tiga fasa  $1/2$  cycle terbesar. Hal ini dilakukan untuk mengetahui *tripping time* serta kerja rele pada urutan yang benar atau tidak. Pertama dilakukan simulasi pada plan *existing* tanpa penambahan SFCL, berikut rangkuman waktu kerja rele dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data *Tripping Time* Rele Existing

<i>Fault Case</i>	<i>Tripping Time (ms)</i>	<i>Relay ID</i>	<i>If (kA)</i>	<b>Keterangan</b>
A	300	50/51-SG-61-II	10,12	Rele primer dan backup kerja dengan baik tapi lama
	300	50/51-TSTG-01	10,12	
	500	Relay70	18,14	
	500	Relay78	18,14	
	600	50/51-TSTG1-I	2,14	
	600	50/51TSYN-O	5,13	
B	300	50/51-SG-61-II	10.12	Rele primer dan backup tidak kerja dengan baik
	300	50/51-TSTG-01	10.12	
	500	Relay70	10.25	
	600	50/51-TSTG1-I	15.24	
	600	50/51TSYN-O	7.6	
	600	50/51TSYN-OLD	7.6	
C	600	50/51-TSTG1-I	2.08	Rele primer dan backup tidak kerja dengan baik
	600	50/51 TSYN-New	4.97	
	600	50/51-TSYN-O	2.08	
	600	50/51 TSYN-OLD	4.97	
	700	Relay10	11.6	
	1079	50/51-TSTG-01	2.4	
D	300	50/51-SG-61-II	2.6	Rele yang kerja sudah sesuai tp kerja rele terlalu lama
	300	50/51-TSTG-01	2.6	
	500	Relay79	22.5	
	500	Relay80	22.5	
	600	50/51 TSYN-O	2.07	

<b>Fault Case</b>	<b>Tripping Time (ms)</b>	<b>Relay ID</b>	<b>If (kA)</b>	<b>Keterangan</b>
E	300	50/51-SG-61-I1	2.7	Rele yang kerja kurang sesuai
	300	50/51-TSTG-01	2.7	
	500	Relay79	22.5	
	600	50/51-TSTG1-I	2.07	
F	300	50/51-SG-61-I1	25.4	Rele yang kerja sesuai tp kerja rele terlalu lama
	300	50/51-TSTG-01	2.7	
	500	Relay70	22.5	
	500	Relay78	22.5	

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa koordinasi proteksi pada plan existing masih berantakan dan juga memiliki tripping time yang tidak tepat. Rele primer dan rele backup pada PT PUSRI IIB kurang terkoordinasi, hal ini tidak diperbolehkan karena rele berfungsi sebagai pengaman sistem jaringan saat terjadi gangguan. Untuk itu perlu dilakukan *setting* ulang, agar ketika terjadi gangguan di PT PUSRI IIB rele primer maupun backup mampu kerja dengan baik

## 4.2 Setting Ulang Rele Proteksi Tanpa SFCL

*Setting* ulang pada rele dilakukan untuk memperbaiki koordinasi proteksi yang sudah ada. Berikut tabel 4.2 data *setting* ulang rele.

**Tabel 4.2** Data Setelan Rele Setelah *Setting* Ulang

<b>Relay ID &amp; Model</b>	<b>CT Ratio</b>	<b>Setting</b>	
50/51-TSTG-01, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,3
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	9,1
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
50/51-SG-61-I1, MODEL :	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>

<b>Relay ID &amp; Model</b>	<b>CT Ratio</b>	<b>Setting</b>	
Merlin Gerlin Sepam 2000		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 <i>xCT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,6
		<i>Time Dial</i>	0,4
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	9,1
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay 70, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse Time</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 <i>xCT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,48
		<i>Time Dial</i>	0,3
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	2.3
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay 78, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse Time</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 <i>xCT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	10,5
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	1,25
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
50/51-TSTG1-I, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 80	1600 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,46
		<i>Time Dial</i>	0,75
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51

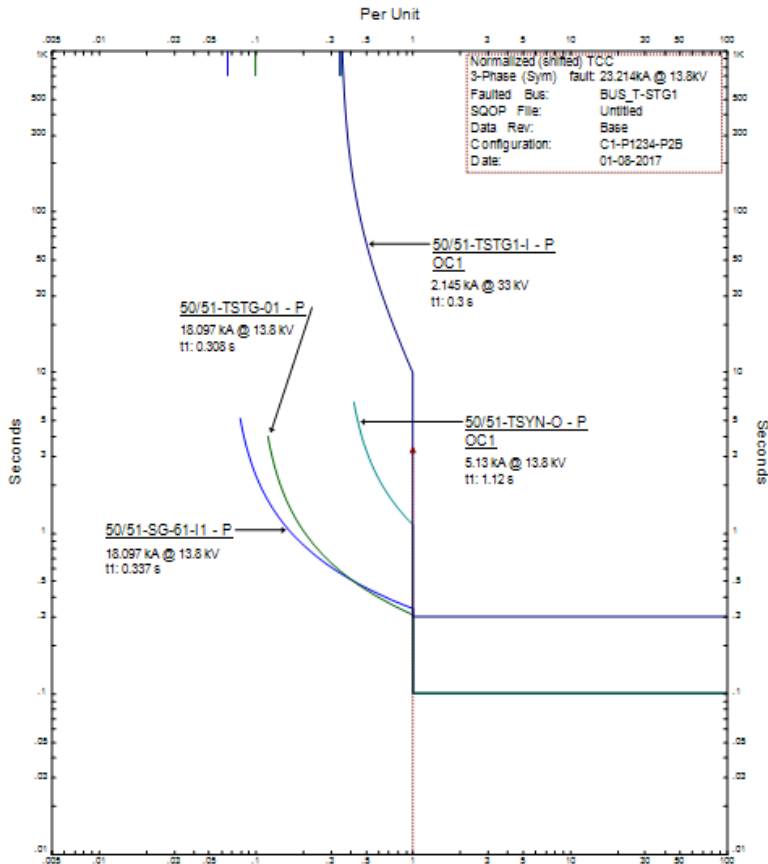


<b>Relay ID &amp; Model</b>	<b>CT Ratio</b>	<b>Setting</b>	
50/51-TSYN-O, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000:5	<i>Pickup</i>	1,34
		<i>Time Delay</i>	0,3 s
		<i>Curve Type</i>	<i>Standard</i> <i>Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,04
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	2,57
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay79, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard</i> <i>Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,51
		<i>Time Dial</i>	0,53
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	12,3
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay80, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard</i> <i>Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,9
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	7,3
		<i>Time Delay</i>	0,5 s
Relay10, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard</i> <i>Inverse</i>

<b><i>Relay ID &amp; Model</i></b>	<b><i>CT Ratio</i></b>	<b><i>Setting</i></b>	
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	1,05
		<i>Time Dial</i>	12
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	5,83
		<i>Time Delay</i>	0,1 s

Dengan kurva TCC rele yang kerja dapat dilihat pada gambar berikut:

## 1. Kurva TCC Case A

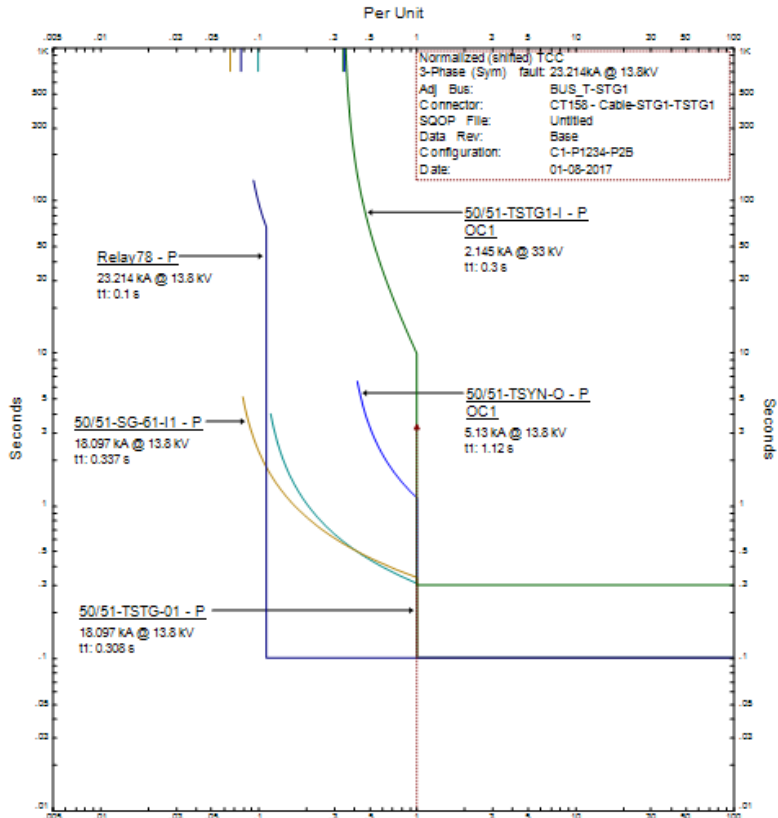


**Gambar 4.2** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada Case A

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 78 aktif 0,1s, kemudian rele 50/51-TSTG1-I kerja pada 0,3s dan rele 50/51-TSTG-01 kerja pada waktu 0,3s, apabila rele tersebut tidak kerja maka rele 50/51-SG-61-I1 kerja pada 0,33s dan rele 50/51-TSYN-O kerja pada 1,12s sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case A sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

## 2. Kurva TCC Case B

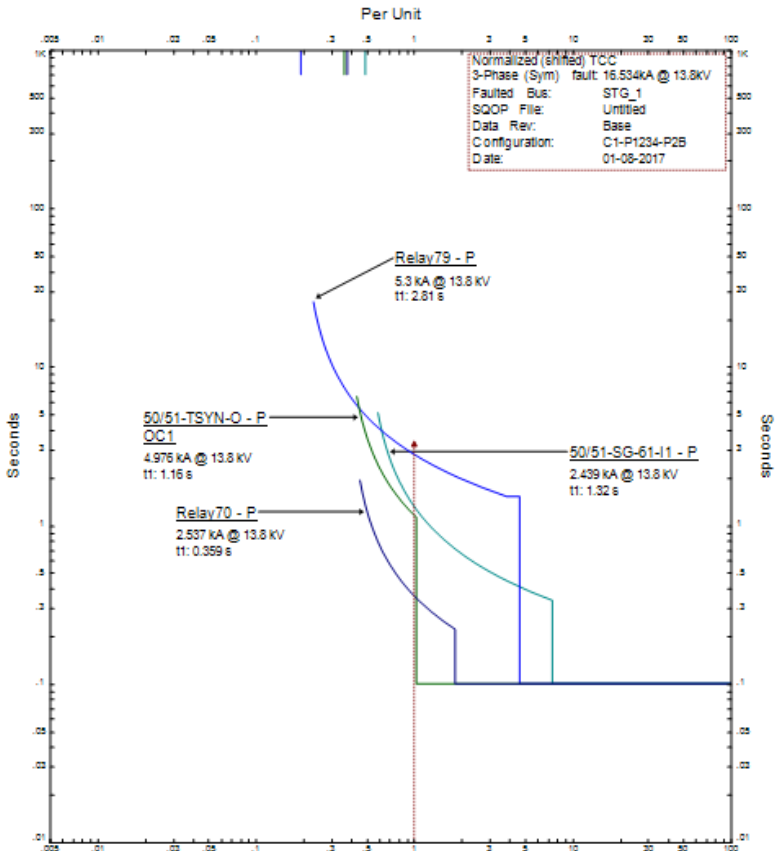


**Gambar 4.3** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada Case B

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 70 kerja pada 0,1s kemudian rele 78 kerja pada waktu 0,1s, apabila rele primer tidak kerja sebagai *backup* rele 50/51-TSTG-01 kerja 0,3s dan rele 50/51-TSTG1-I kerja 0,3s. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case B sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

### 3. Kurva TCC *Case C*

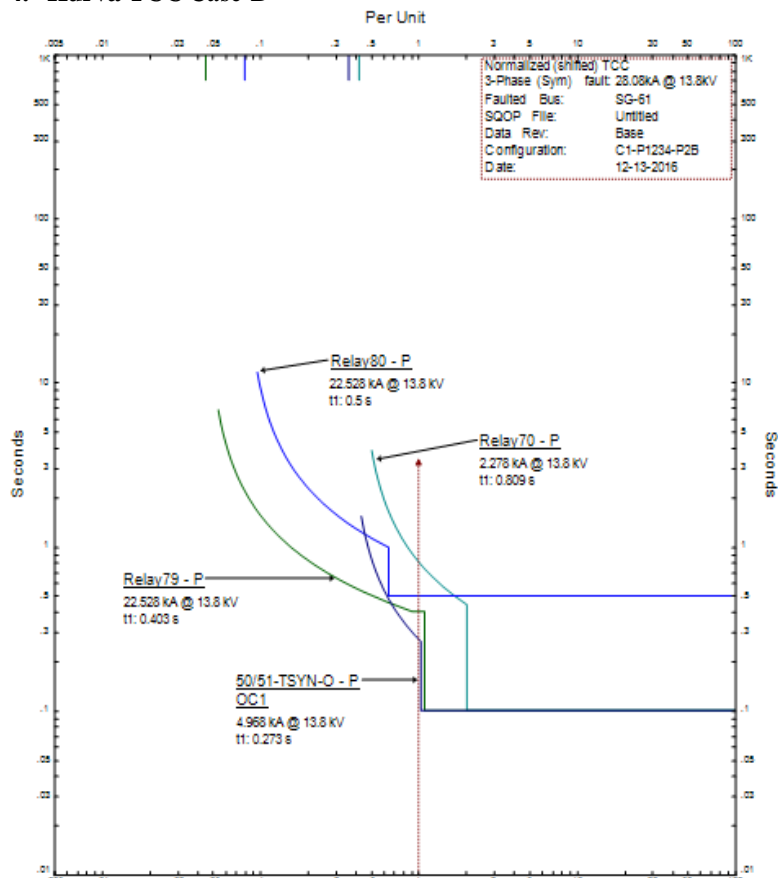


**Gambar 4.4** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada *Case C*

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa rele 10 kerja bersamaan selama 0,1s kemudian rele 70 kerja pada waktu 0,3s dan rele 50/51-TSYN-O kerja pada 1,16s. Untuk hasil *tripping sequence* rele pada *case C* belum benar, rele primer maupun rele backup tidak kerja dengan baik sehingga membahayakan sistem.

#### 4. Kurva TCC Case D

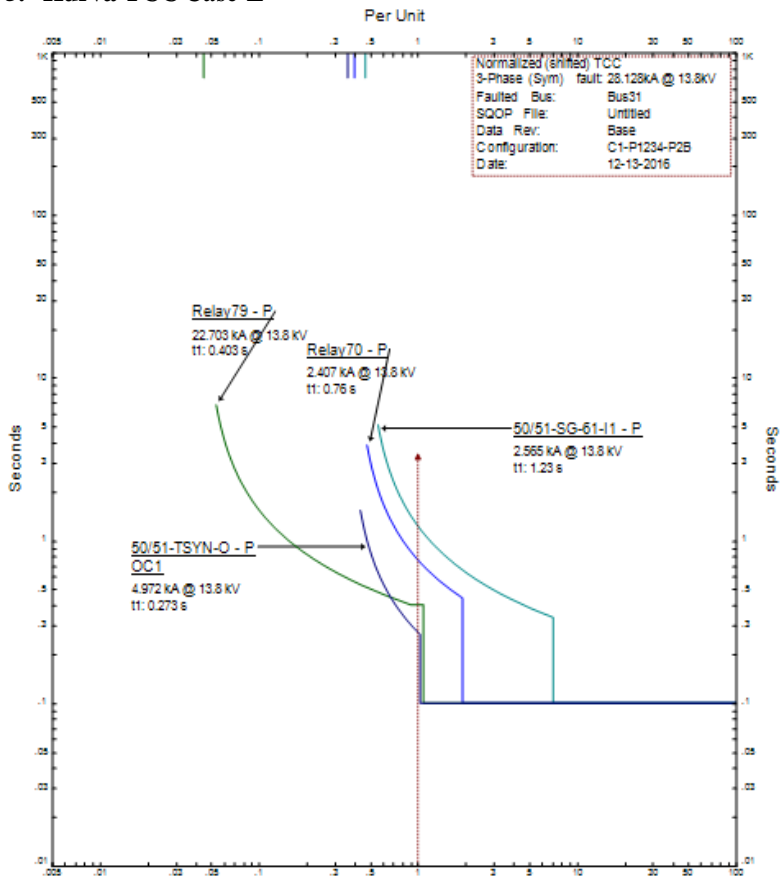


**Gambar 4.5** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada Case D

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa rele pertama kerja 50/51-TSYN-O kerja pada waktu 0,27s kemudian rele 79 kerja pada waktu 0,4ms dan rele 80 pada waktu 0,5s. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case D belum benar, rele primer maupun rele backup tidak kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

## 5. Kurva TCC Case E

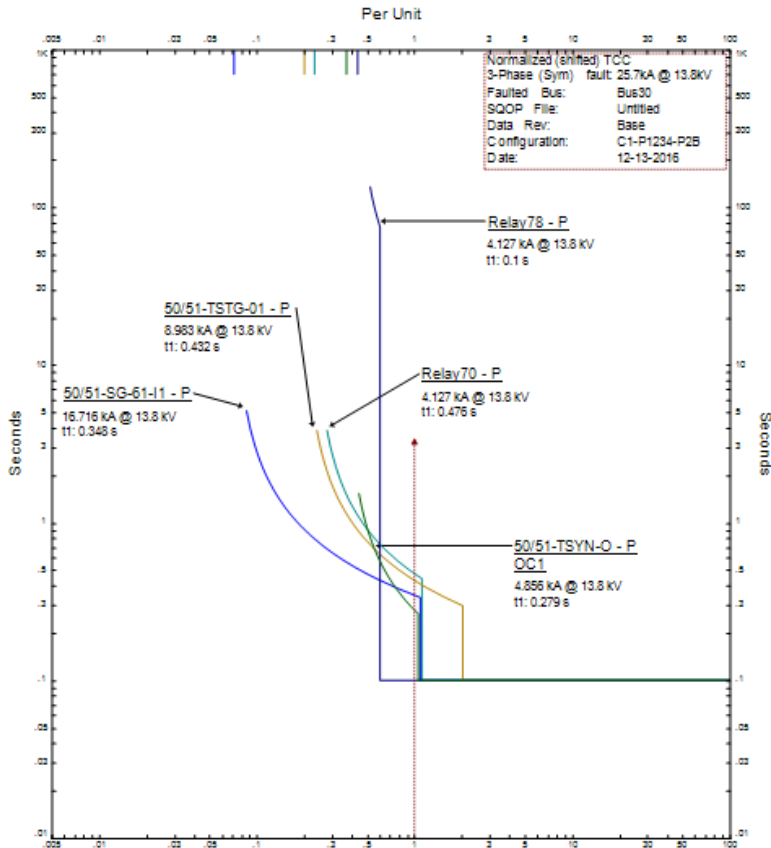


**Gambar 4.6** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada Case E

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa rele pertama kerja 50/51-TSYN-O kerja pada waktu 0,27s kemudian rele 79 kerja pada waktu 0,4ms dan rele 70 pada waktu 0,76s. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case E belum benar, rele primer maupun rele backup tidak kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

## 6. Kurva TCC Case F



**Gambar 4.7** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa pada Case F

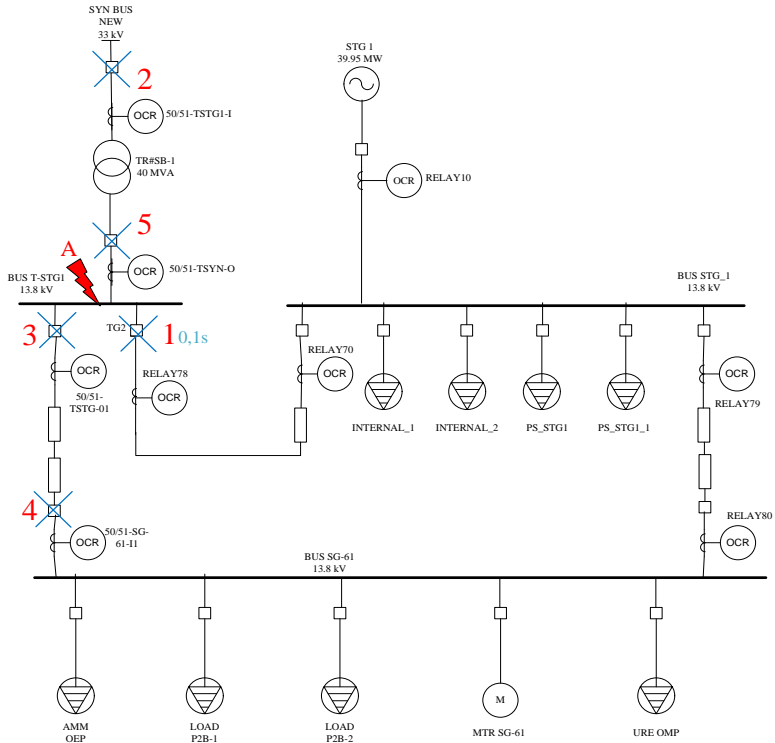
Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa rele 78 kerja pada waktu 0,1s kemudian rele 50/51-TSYN-O kerja pada waktu 0,27s diikuti rele 50/51-SG-61-I1 pada waktu 0,3s dan rele 50/51-TSTG-01 0,4s kerja sebagai rele backup. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case F belum benar, rele primer maupun rele backup tidak kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

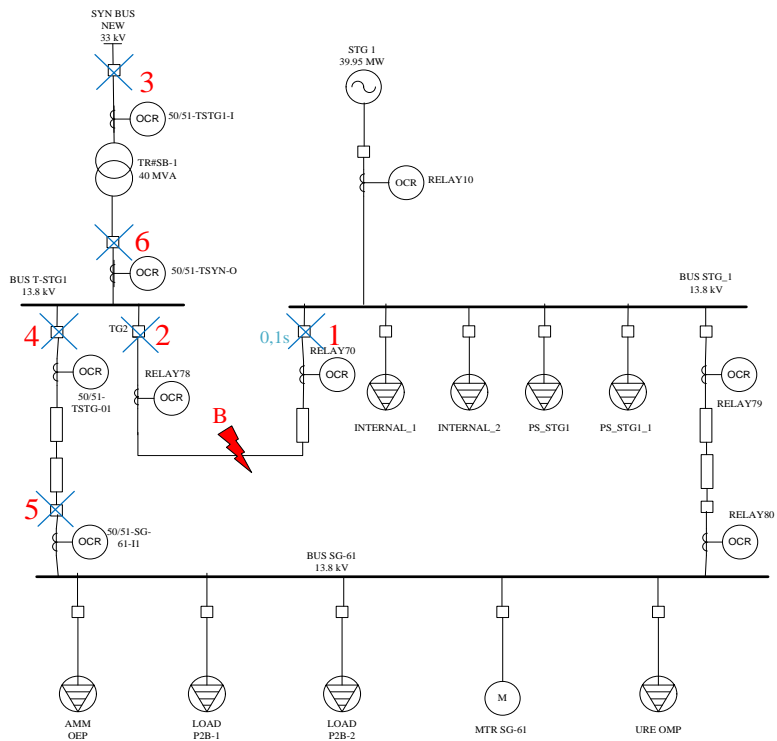


### 4.3 Tripping Sequence Rele Setelah Setting Ulang

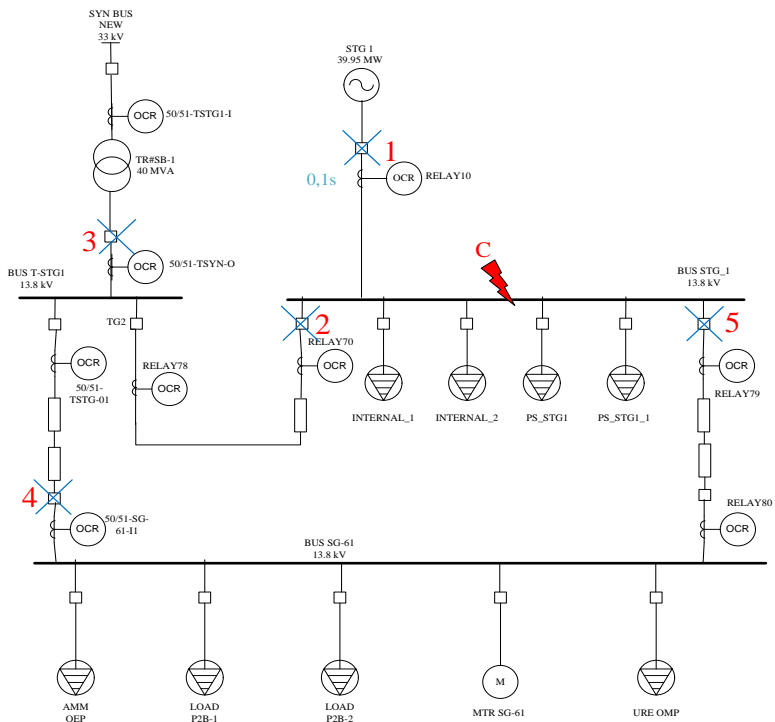
Simulasi *tripping sequence* dilakukan setelah *setting* ulang rele pada *fault case* yang telah ditentukan. Hal ini dilakukan untuk melihat kerja dari rele primer dan *backup* dengan benar atau tidak.



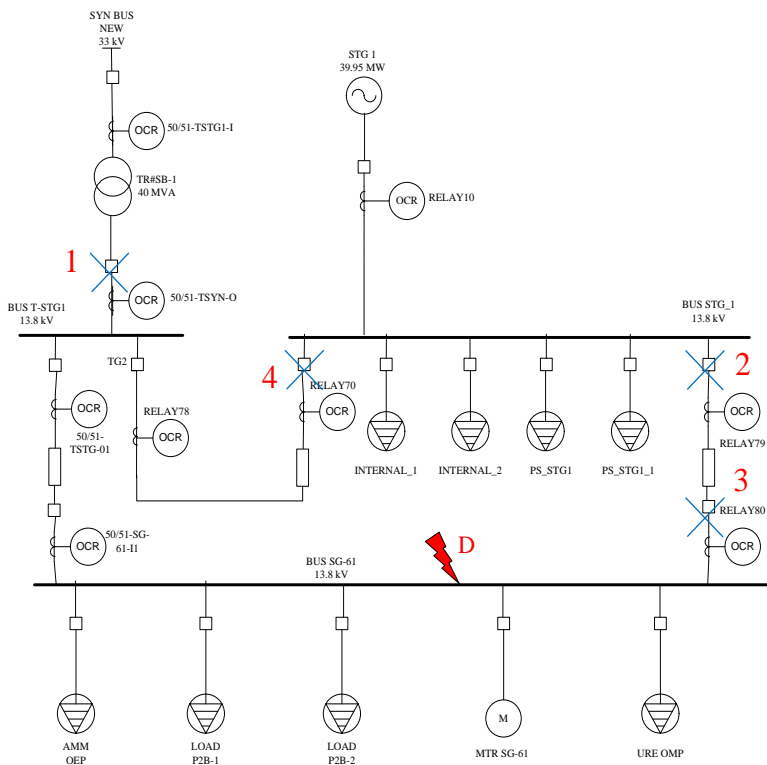
(a) Case A



(b) Case B

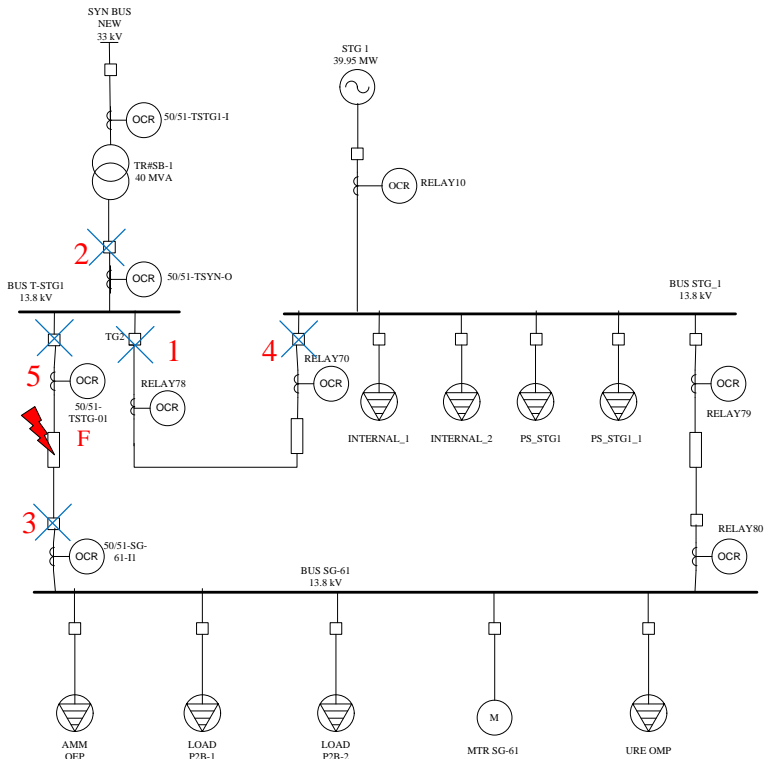


(c) Case C



(d) Case D





(f) Case F

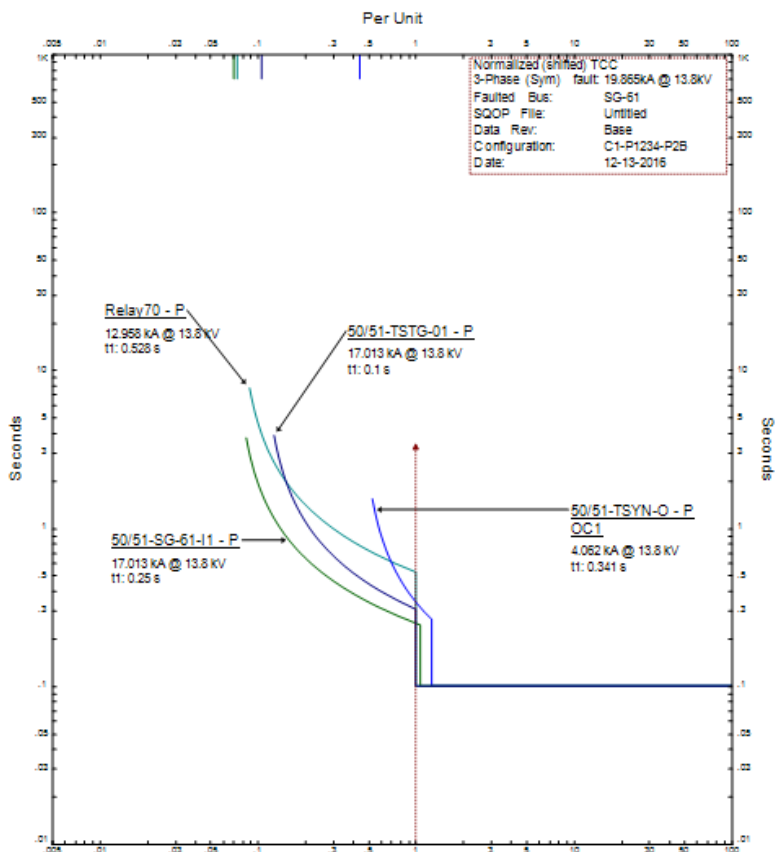
**Gambar 4.8** Tripping Sequence Setelah Setting Ulang pada (a) Case A, (b) Case B, (c) Case C, (d) Case D, (e) Case E dan (f) Case F

#### 4.4 Setting Ulang Pada Koordinasi Rele Yang Salah

Setting ulang ini bertujuan untuk melihat dampak ketika koordinasi rele proteksi pada case yang masih salah menjadi benar.

##### 4.4.1 Resetting Gangguan Case D

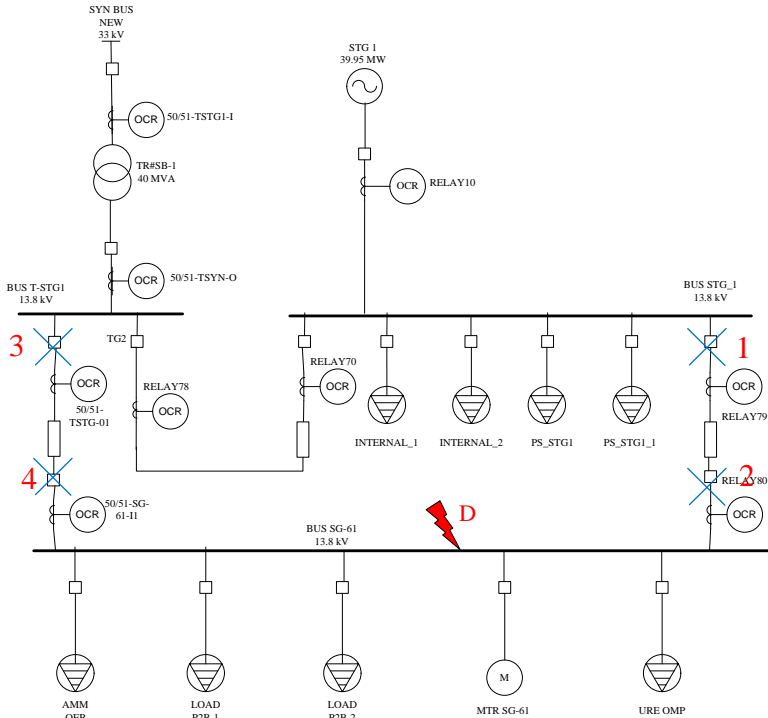
Dari kurva TCC rele saat gangguan pada Case D (gambar 4.5), agar rele 79 kerja 0,1s yaitu dengan menurunkan nilai *pickup instantaneous*. Kemudian agar rele 70 dan rele 78 tidak aktif maka menaikkan nilai *pickup instantaneous*. Berikut gambar 4.9 kurva TCC case D :



**Gambar 4.9** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah *Resetting* pada Case D

Dari plot kurva rele diatas :

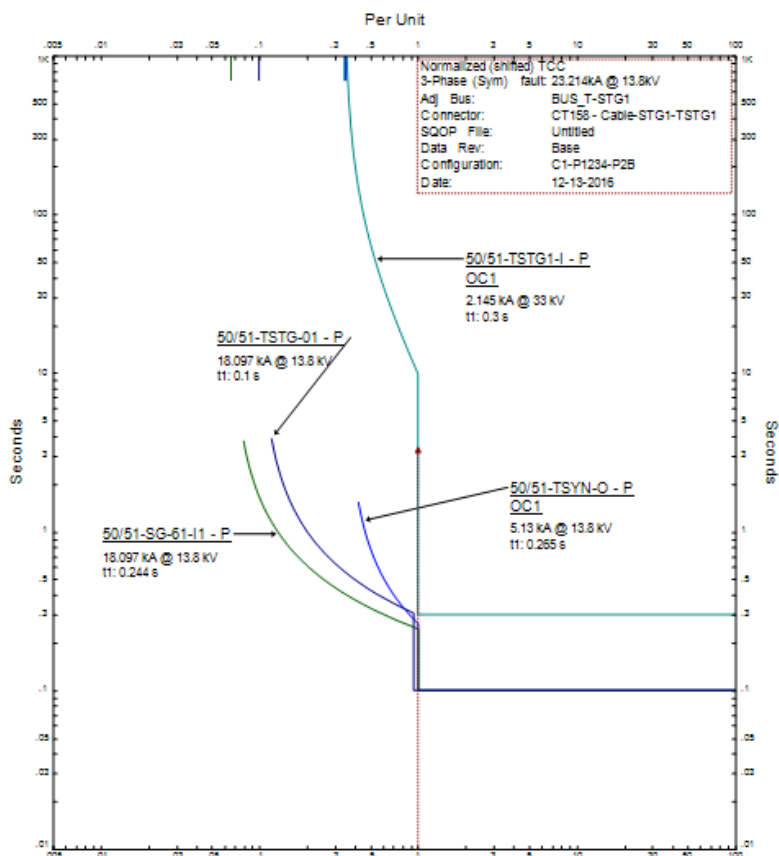
Ketika terjadi hubung singkat rele 79 aktif 0,1s kemudian rele 50/51-TSTG-01 aktif 0,1s sebagai rele *backup* yaitu rele 80 dan rele 50/51-SG-61-I1 kerja pada 0,25s. Berikut *tripping sequence* setelah *resetting* case D.



**Gambar 4.10** *Tripping Sequence Setelah Reseting pada Case D*

Untuk hasil *setting* ulang rele pada *case D* sudah bagus, namun berdampak pada gangguan *case B*. Berikut kurva TCC dapat dilihat pada gambar 4.11.

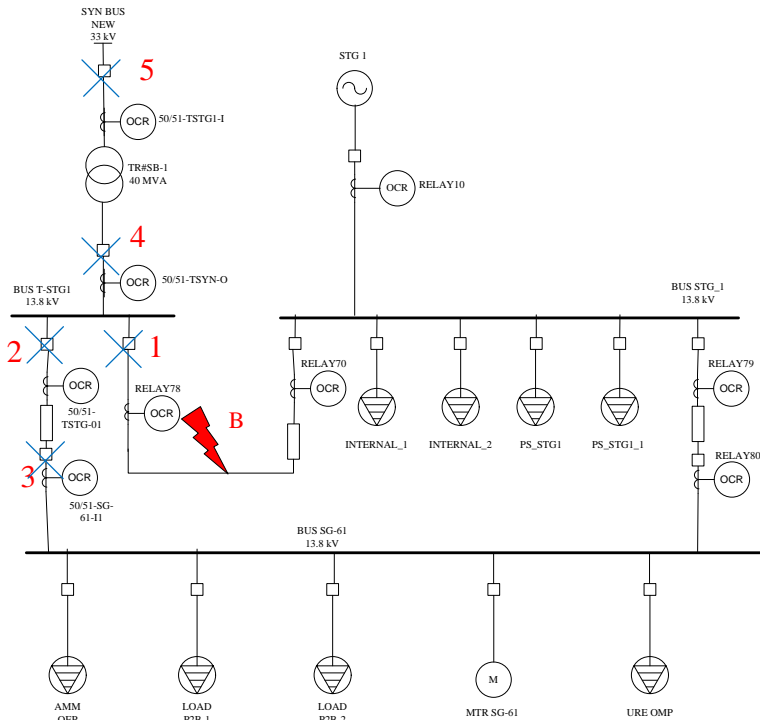




**Gambar 4.11** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah *Resetting Case D* pada *Case B*

Dari plot kurva rele diatas :

Pada gangguan di *case B* rele yang kerja pertama rele 78 kerja pada 0,1s kemudian 50/51-SG-61-I1 kerja pada 0,24s, sehingga arus yang mengalir antara Bus T-STG1 dengan Bus SG-61 terputus. Koordinasi rele menjadi buruk karena rele 70 yang sebelumnya kerja sebagai rele primer tidak kerja karena pada *resetting case D* nilai pickup instaneous dinaikkan sehingga rele tidak kerja. Rele 70 kerja ketika arus kontribusi yang melewati sebesar 12 Ka. Berikut *tripping sequence* setelah *resetting case B*.

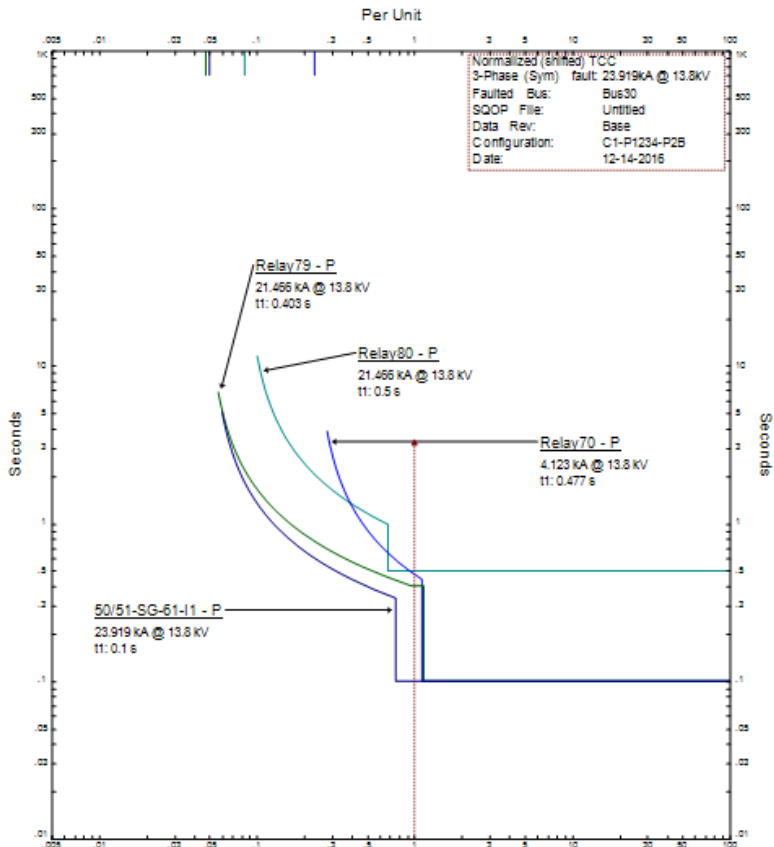


**Gambar 4.12** *Tripping Sequence Setelah Setting Ulang pada Case B*

Untuk hasil *setting* ulang rele pada *case B* belum benar, sehingga perlu pembatas arus agar rele tidak kerja bersamaan.

#### 4.4.2 *Resetting Gangguan Case F*

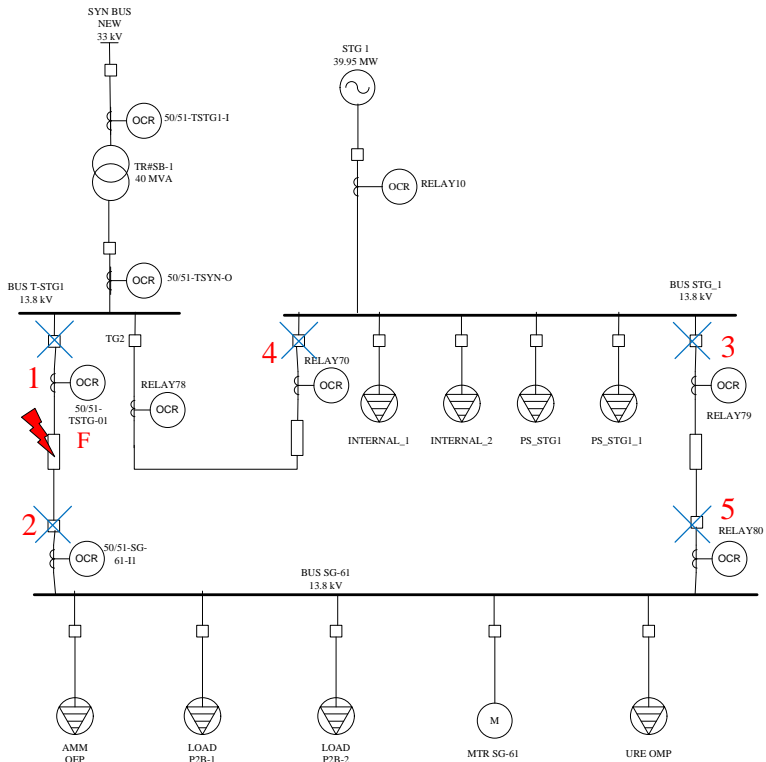
Dari analisa kurva TCC rele saat gangguan pada *Case F* (gambar 4.7), agar rele 50/51-TSTG-01 kerja 0,1s yaitu dengan menurunkan nilai *pickup instaneous*. Kemudian agar rele 78 tidak aktif maka menaikkan nilai *pickup instaneous*. Berikut gambar Kurva TCC setelah *resetting*



**Gambar 4.13** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah *Resetting* pada Case F

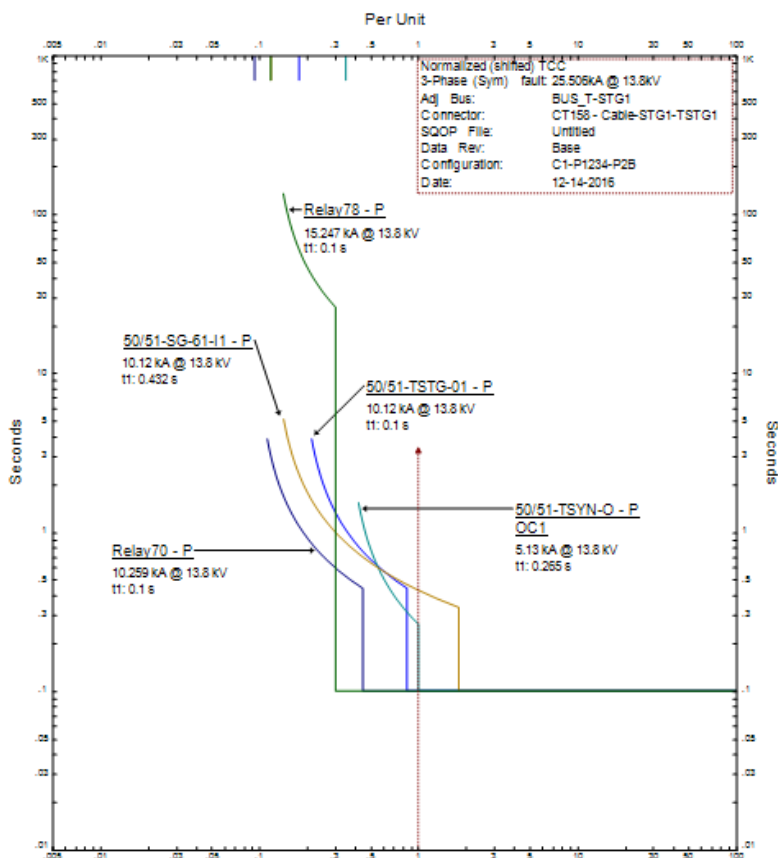
Dari plot kurva rele diatas :

Ketika terjadi hubung singkat rele 50/51-TSTG-01 kerja 0,1s kemudian rele 50/51-SG-61-I1 aktif 0,1s. Sebagai rele *backup* yaitu rele 70, 80 dan 79. Berikut gambar 4.14 *tripping sequence* setelah *resetting* pada case F..



**Gambar 4.14** *Tripping Sequence Setelah Setting Ulang pada Case F*

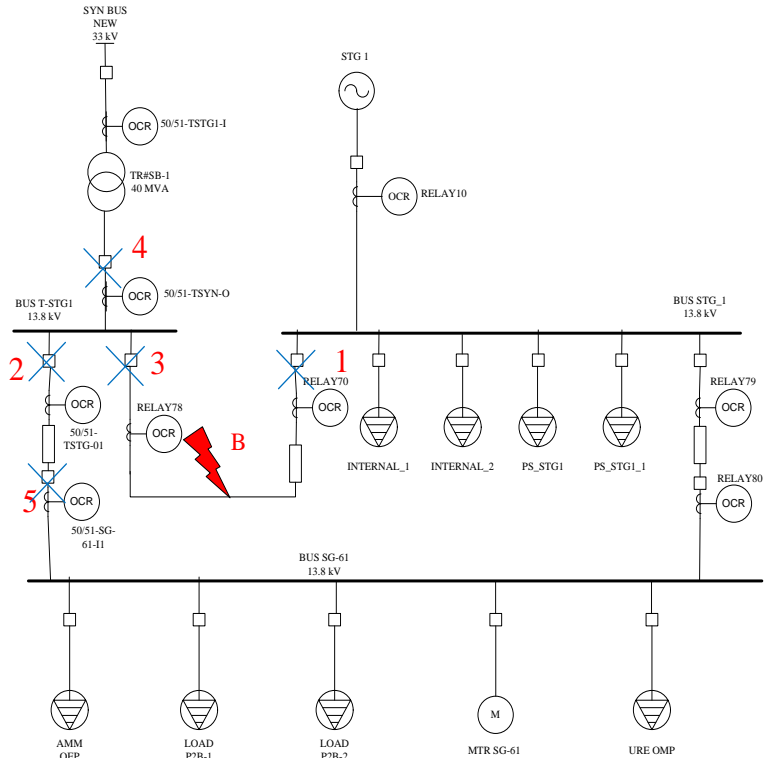
Untuk hasil *setting* ulang rele pada *case F* sudah bagus, namun berdampak pada gangguan *case B*. Berikut kurva TCC dapat dilihat pada gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Kurva TCC Kerja Rele Saat Gangguan 3 Fasa Setelah *Resetting Case F* pada *Case B*

Dari plot kurva rele diatas :

Pada gangguan di *case B* rele 78, 70 dan 50/51-TSTG-01 kerja pada 0,1s. Hal ini kurang efisien karena arus yang mengalir ke Bus SG-61 menjadi terputus. Berikut gambar 4.16 *tripping sequence* setelah *resetting case B*



**Gambar 4.16** *Tripping Sequence Setelah Setting Ulang pada Case B*

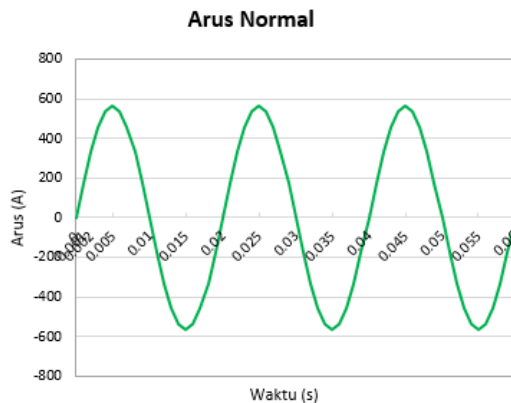
Untuk koordinasi rele pada *case B* belum benar, sehingga perlu pembatas arus agar rele tidak kerja bersamaan.

#### 4.5 Pemasangan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)*

*Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)* merupakan peralatan listrik yang dapat digunakan untuk membatasi arus hubung singkat. Salah satu kelebihan penggunaan SFCL adalah mempunyai nilai impedansi sangat kecil atau dapat diabaikan pada kondisi normal. Setelah melakukan simulasi *tripping sequence* pada beberapa *feeder* seperti pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pemasangan SFCL dapat mengatasi kesalahan koordinasi pada saat terjadi gangguan di PT PUSRI IIB.

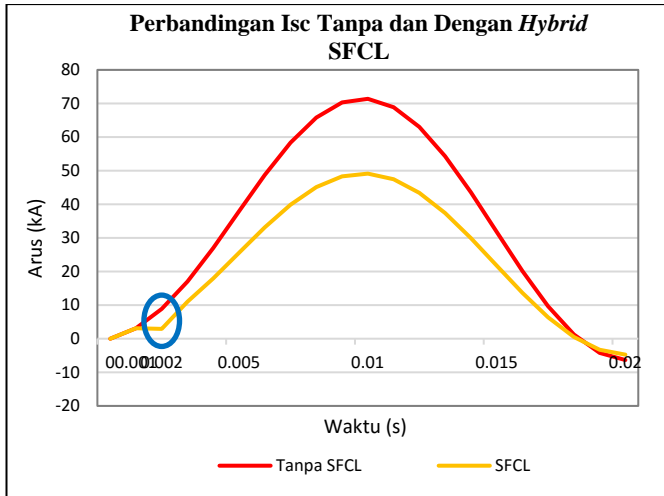
#### 4.5.1 Cara Kerja *Hybrid SFCL*

Terdapat dua kondisi operasi kerja pada *Hybrid SFCL* yaitu kondisi saat normal dan kondisi saat terjadi gangguan. Saat kondisi normal arus mengalir melalui *High Temperature Superconductor* (HTS) yang terhubung seri dengan *Vacuum Interrupter* (VI). Nilai resistansi HTS saat arus normal adalah 0 ohm sehingga arus masukan dan arus keluaran yang melewati *Hybrid SFCL* besarnya sama. Bentuk gelombang arus pada Bus SG-61 saat keadaan normal diperlihatkan pada gambar 4.17.



**Gambar 4.17** Arus Pada Kondisi Normal

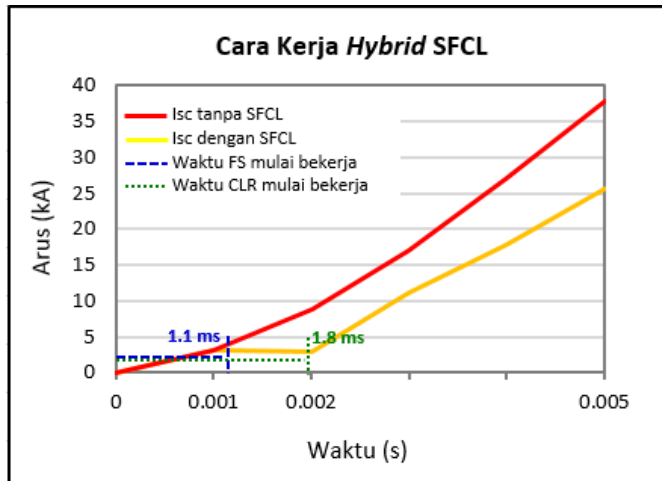
Pada saat kondisi gangguan arus hubung singkat yang mengalir mengakibatkan peningkatan temperatur sehingga nilai resistansi HTS meningkat. Peningkatan resistansi HTS mengalihkan aliran arus hubung singkat menuju *current limiting reactor* (CLR) dengan bantuan *fast switch*. Perbandingan antara gelombang arus saat hubung singkat tanpa menggunakan hybrid SFCL dengan gelombang arus saat hubung singkat setelah dipasang hybrid SFCL ditampilkan pada gambar 4.18.



**Gambar 4.18** Perbandingan Arus Gangguan Tanpa dan Dengan *Hybrid* SFCL

Pada gambar 4.18 arus hubung singkat tanpa SFCL terlihat pada gelombang berwarna merah, sedangkan grafik hubung singkat setelah dipasang SFCL terlihat pada gelombang berwarna kuning. HTS mendeteksi gangguan pada saat 1,1 ms setelah dimulainya arus hubung singkat ketika Isc sebesar 3,12 kA. *Drive coil* mulai mendeteksi arus gangguan dan *fast switch* mulai kerja pada 1,1 ms dan berakhir pada 1,8 ms setelah kegagalan terjadi. Kemudian arus yang mengalir ke HTS menjadi nol dan total arus gangguan mengalir ke jalur paralel menuju CLR untuk direduksi memanfaatkan reaktansinya. Arus hubung singkat tanpa SFCL saat 2ms sebesar 8,8kA sedangkan setelah melewati CLR arus menjadi 2,9kA. Untuk memodelkan bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa 1/4 *cycle* pertama pada bus TU-SG-01 digunakan metode transien IEC 61361. Grafik proses kerja *Hybrid* SFCL pada gambar 4.19.



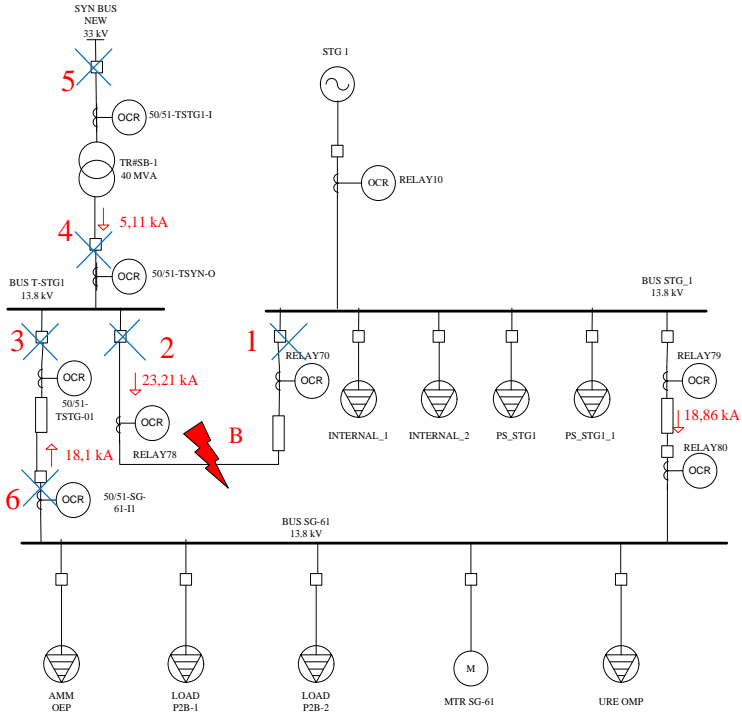


**Gambar 4.19** Grafik Proses Kerja *Hybrid SFCL*

#### 4.5.2 Pemilihan Letak *Hybrid SFCL*

Berdasarkan hasil simulasi analisa *tripping sequence* dan *resetting* dapat ditentukan letak pemasangan SFCL yakni dihubungkan paralel antara Bus STG\_1 dengan Bus SG-61. *Single line* diagram pemasangan SFCL PUSRI IIB ditunjukkan pada gambar 4.20.





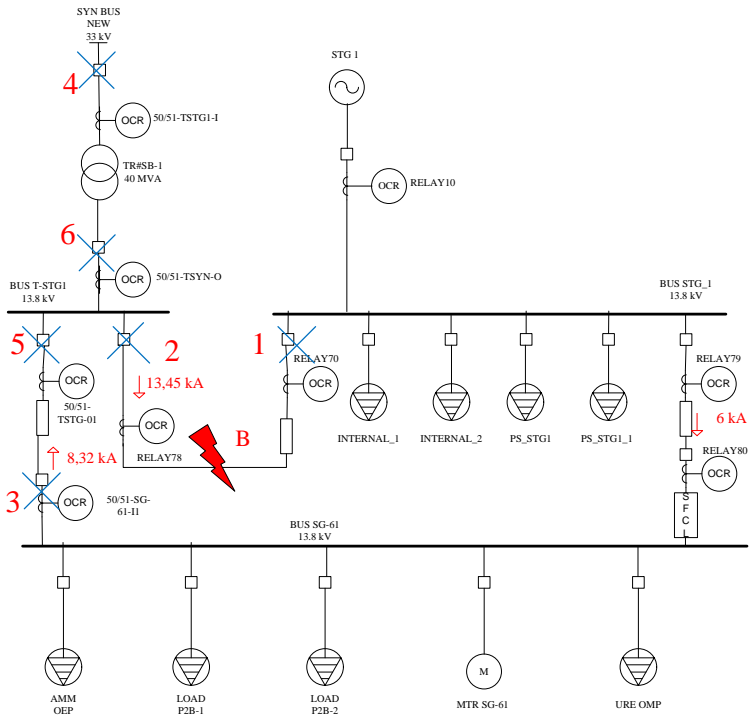
**Gambar 4.21** Arus Kontribusi Setelah *Setting* Ulang pada *Case B*

Dengan memperkecil arus kontribusi antara T-STG1 dengan SG-61 maka perlu SFCL untuk membatasi arus 18,86 Ka menjadi 6 Ka sehingga rele T-STG-01 tidak akan kerja saat gangguan pada *case B* berikut perhitungan nilai SFCL:

$$X_R = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{I_{sc_{desire}}} - \frac{1}{I_{sc_{system}}} \right]$$

$$X_R = \frac{13800}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{6000} - \frac{1}{18860} \right]$$

$$X_R = 0,9 \, \Omega$$



**Gambar 4.22** Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 1 SFCL pada Case B

Dari gambar diatas setelah melakukan *setting* rele pada case F dengan benar, untuk gangguan pada case B koordinasi rele juga benar karena arus pengaruh pemasangan SFCL .

#### 4.6 Setting Ulang Rele Proteksi Setelah Penambahan 1 Hybrid SFCL

Setting ulang pada rele dilakukan untuk memperbaiki koordinasi proteksi yang sudah ada. Berikut data *setting* ulang rele.

**Tabel 4.3** Data Setelan Rele Setelah Penambahan 1 Hybrid SFCL

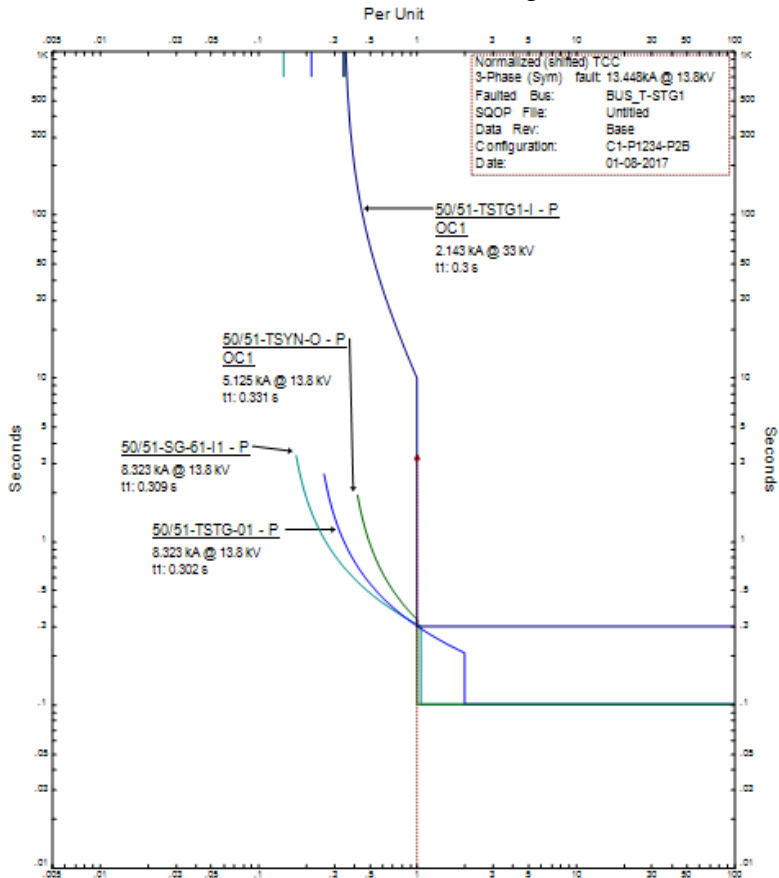
<i>Relay ID &amp; Model</i>	<i>CT Ratio</i>	<i>Setting</i>	
50/51-TSTG-01, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,2
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	8,3
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
50/51-SG-61-I1, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,6
		<i>Time Dial</i>	0,2
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	4,4
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay 70, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse Time</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,48
		<i>Time Dial</i>	0,25
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	7
		<i>Time Delay</i>	0,1 s

<b>Relay ID &amp; Model</b>	<b>CT Ratio</b>	<b>Setting</b>	
Relay 78, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse Time</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 <i>xCT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	8,5
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	6,7
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
50/51-TSTG1-I, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 80	1600 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,46
		<i>Time Dial</i>	0,75
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	1,34
		<i>Time Delay</i>	0,3 s
50/51-TSYN-O, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,5
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	2,57
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay79, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>

<b>Relay ID &amp; Model</b>	<b>CT Ratio</b>	<b>Setting</b>	
		<i>Pickup</i>	0,51
		<i>Time Dial</i>	0,4
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	3,3
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay80, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,65
		<i>Time Dial</i>	0,3
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	3,25
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay10, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	1,05
		<i>Time Dial</i>	12
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	5,83
		<i>Time Delay</i>	0,1 s

Dengan kurva TCC rele yang kerja dapat dilihat pada gambar dibawah:

## 1. Kurva TCC Setelah Penambahan 1 SFCL pada Case A



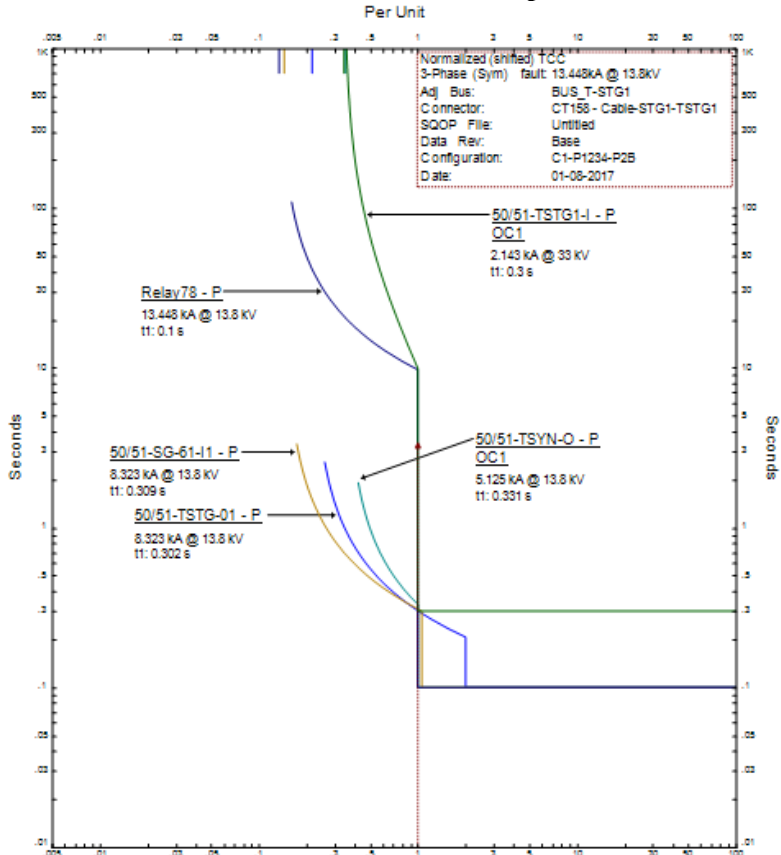
**Gambar 4.23** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 SFCL pada Case A

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 78 aktif 0,1s kemudian rele 50/51-TSTG-01 dan rele 50/51-TSTG1-I kerja pada waktu 0,3s dan 0,3s, apabila rele tersebut tidak kerja maka rele 50/51-SG-61-I1 dan rele 50/51-TSYN-O rele kerja sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case A sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.



## 2. Kurva TCC Setelah Penambahan 1 SFCL pada Case B

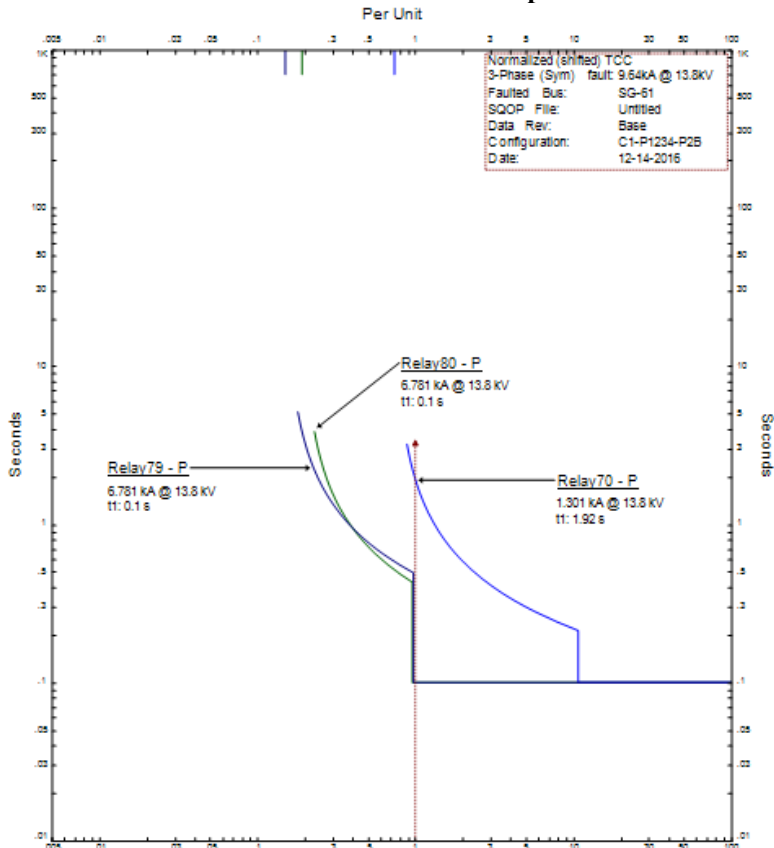


**Gambar 4.24** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 SFCL pada Case B

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 70 aktif 0,1s kemudian rele 78 aktif 0,1s. Rele 50/51-TSTG-01 dan rele 50/51-TSTG1-I kerja pada waktu 0,3s dan 0,3s kerja sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case B sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

### 3. Kurva TCC Setelah Penambahan 1 SFCL pada Case D

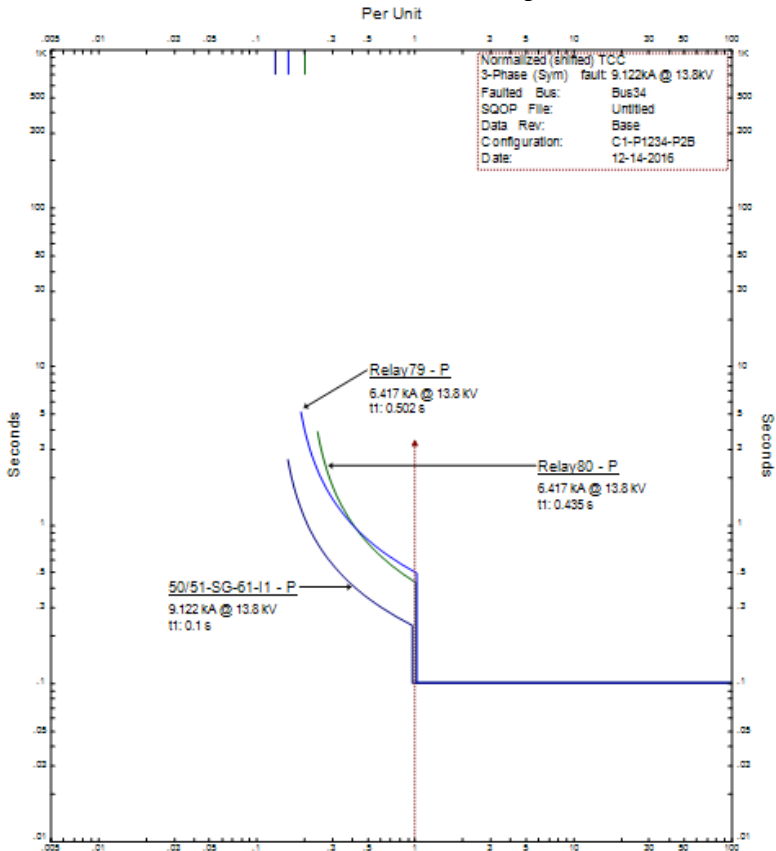


**Gambar 4.25** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 SFCL pada Case D

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele Rele 50/51-SG-61-I1 kerja 0,1s kemudian rele 79 aktif 0,1s. Rele 50/51-TSTG1-01 dan rele 80 kerja pada waktu 0,3s dan 0,1s kerja sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case D sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

#### 4. Kurva TCC Setelah Penambahan 1 SFCL pada Case F

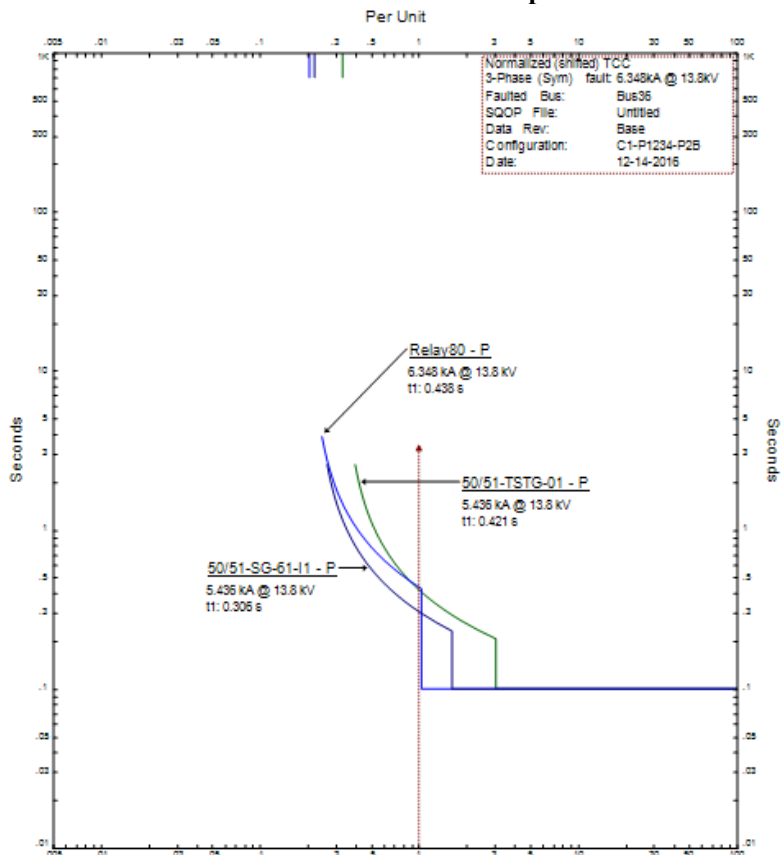


**Gambar 4.26** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 SFCL pada Case F

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele 50/51-TSTG1-01 kerja pertama 0,1s kemudian rele 50/51-SG-61-I1 aktif 0,1s. Rele 79 aktif 0,5s. dan rele 80 kerja pada waktu 0,4s kerja sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada *case F* sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

## 5. Kurva TCC Setelah Penambahan 1 SFCL pada Case E



**Gambar 4.27** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 SFCL pada Case E

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

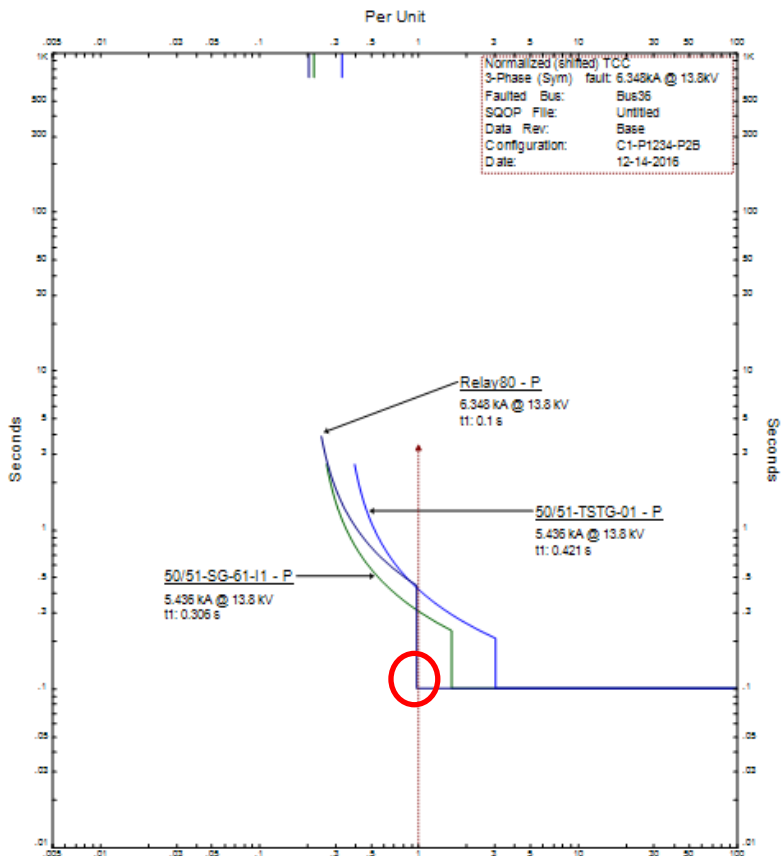
Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa rele 79 kerja pada 0,1s kemudian rele 50/51-SG-61-I1 kerja pada waktu 0,3s, rele 50/51-TSTG-01 kerja 0,421s dan rele 80 pada 0,43s. Hasil *setting* ulang rele pada case E belum benar, rele primer maupun rele backup tidak kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

#### 4.7 Setting Ulang Pada Koordinasi Rele yang Salah Setelah Penambahan 1 Hybrid SFCL

Setting ulang ini bertujuan untuk melihat dampak ketika koordinasi rele proteksi pada *case* yang masih salah menjadi benar.

##### 4.7.1 Resetting Gangguan Case E Setelah Penambahan 1 SFCL

Dengan menurunkan pickup instant rele 80 agar aktif 0,1s ketika terjadi gangguan di *case* F. Berikut kurva TCC setelah *resetting case* F:

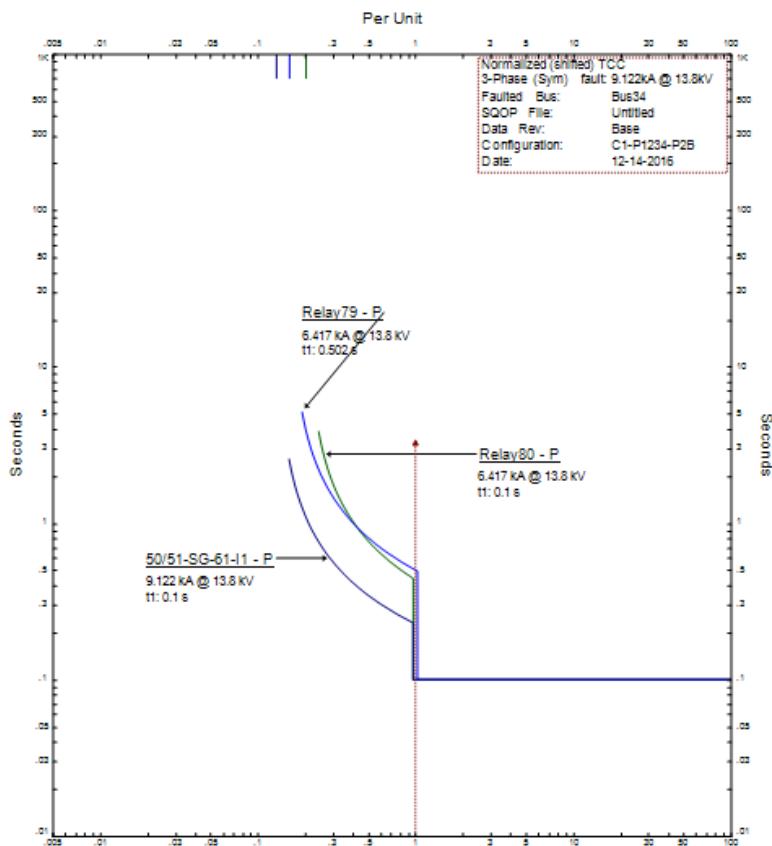


**Gambar 4.28** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 SFCL dan *Resetting* pada *Case* E

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa rele 79 kerja pada waktu 0,1s kemudian rele 80 pada 0,1s. Rele 50/51-SG-61-I1 kerja pada waktu 0,3s, rele 50/51-TSTG-01 kerja 0,421s sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada *case* E sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

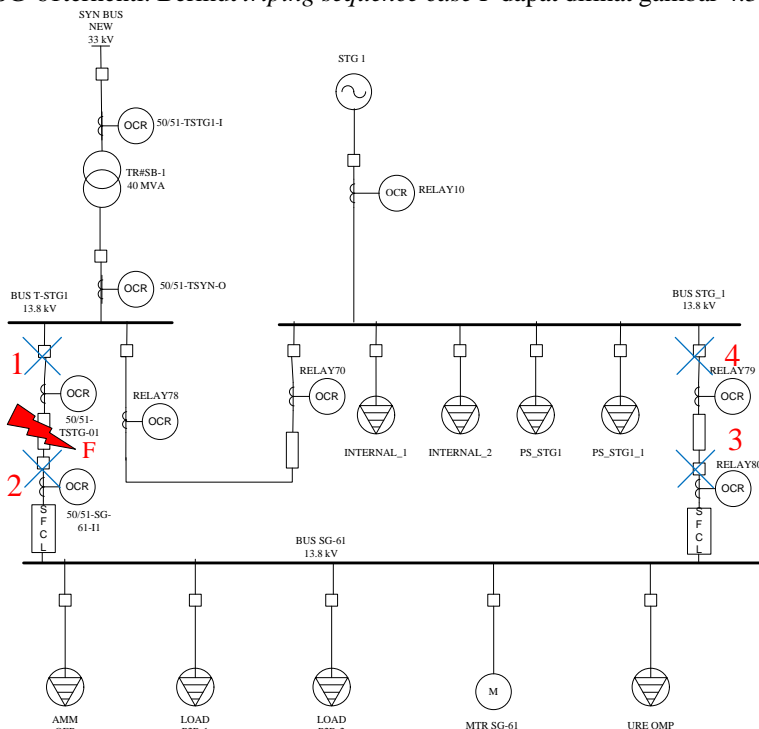
Dampak *resetting* pada *case* E dapat dilihat pada gambar 4.29 kurva TCC berikut.



**Gambar 4.29** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 1 SFCL dan *Resetting case* E pada *Case* F

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa rele 50/51-TSTG-01 kerja pada waktu 0,1s kemudian rele 50/51-SG-61-I1 dan rele 80 kerja pada waktu 0,1s. Hal ini kurang efektif karena mengakibatkan suplai daya pada Bus SG-61 terhenti. Berikut *tripping sequence case F* dapat dilihat gambar 4.30



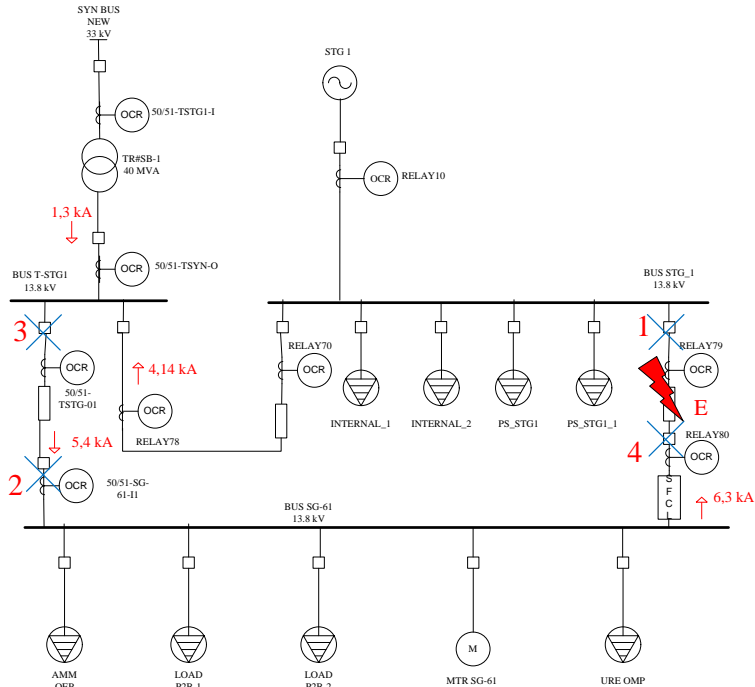
**Gambar 4.30** *Tripping Sequence* Setelah Pemasangan 1 SFCL dan *Resetting* pada *Case F*

Untuk hasil *setting* ulang rele pada *case E* sudah bagus, namun pada *case F* kerja rele primer maupun rele backup tidak kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

#### 4.8 Pemasangan 2 Hybrid SFCL

Dari analisa kurva TCC dan simulasi *tripping sequence* diatas untuk mengkoordinasi rele pada sistem dengan menggunakan 1 SFCL

masih belum bisa sehingga perlu penambahan SFCL yang dipasang diantara Bus T-STG1 dengan Bus SG-61.



**Gambar 4.31** Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 1 SFCL pada Gangguan Case E

Dari analisa pemasangan SFCL diatas dapat dilihat ketika terjadi gangguan pada case E nilai arus kontribusi yang melewati rele 80 terlalu kecil 6,3 Ka sehingga ketika pickup instant diturunkan sedikit berpengaruh pada koordinasi rele case F. Hal ini dipengaruhi oleh pemasangan SFCL yang terlalu besar pada salah satu feeder. Untuk itu perlu mengurangi nilai SFCL namun tetap memperhatikan arus kontribusi yang sebelumnya.

SFCL 1 (Antara Bus T-STG1 dengan Bus SG-61) arus kontribusi saat case E dibatasi dari 16,9Ka menjadi 7,15 Ka maka:



$$X_R = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{I_{sc_{desire}}} - \frac{1}{I_{sc_{system}}} \right]$$

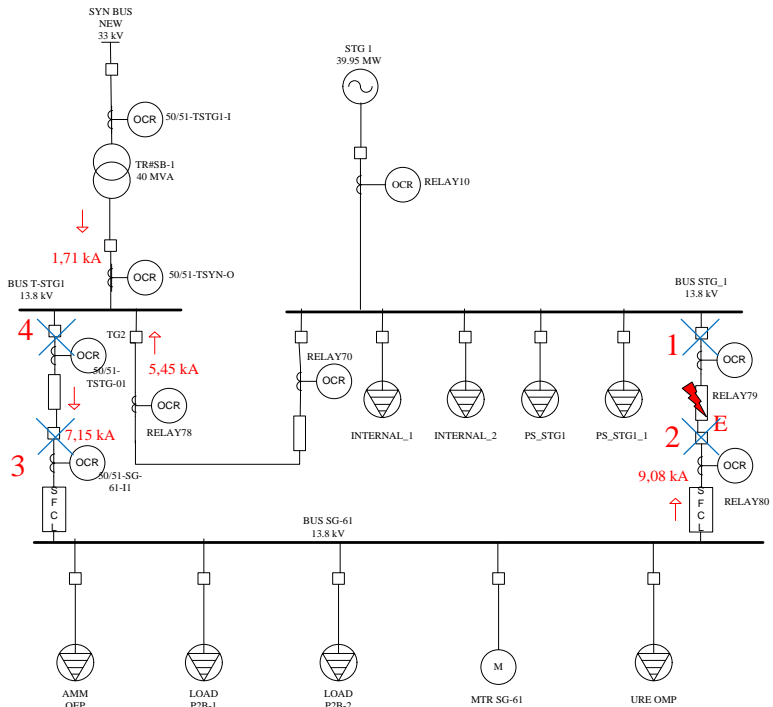
$$X_R = \frac{13800}{\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{7150} - \frac{1}{16980} \right]$$

$$X_R = 0,6 \, \Omega$$

SFCL 1 dipasang (Bus STG1 dengan SG-61) = 0,3 Ohm

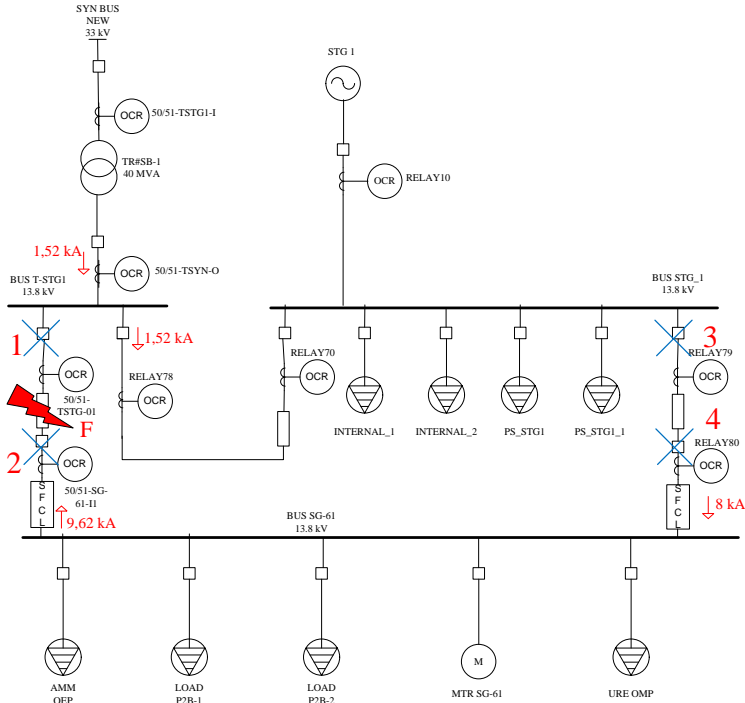
SFCL 2 dipasang (Bus T-STG1 dengan SG-61) = 0,3 Ohm

Dengan memasang dua buah SFCL dengan reaktansi 0,3 Ohm berikut data arus kontribusi pada saat terjadi gangguan pada *case E* dapat dilihat pada gambar 4.32.



**Gambar 4.32** Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 2 SFCL pada Gangguan *Case E*

Dengan memasang dua buah SFCL dengan reaktansi 0,3 Ohm juga berdampak pada arus kontribusi pada saat terjadi gangguan pada *case F*.



**Gambar 4.33** Arus Kontribusi Setelah Pemasangan 2 *Hybrid* SFCL pada Gangguan *Case F*

Sebelum dilakukan pemasangan SFCL, saat gangguan antara Bus SG-61 dengan Bus T-STG1 nilai arus kontribusi pada Bus STG1 dengan SG-61 sebesar 21,46kA sedangkan setelah dilakukan pemasangan *hybrid* SFCL nilai arus kontribusi menjadi 8kA.

*Single line diagram* pemasangan 2 buah SFCL PUSRI IIB ditunjukkan pada gambar 4.34



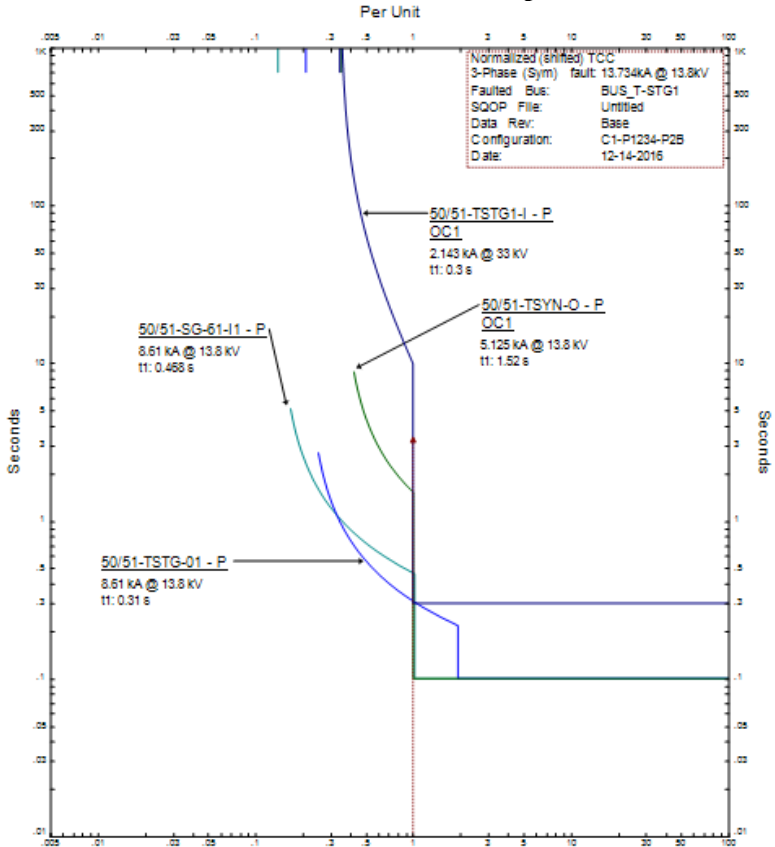
<b>Relay ID &amp; Model</b>	<b>CT Ratio</b>	<b>Setting</b>	
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,21
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	8,3
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
50/51-SG-61-I1, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 xCT Sec
		<i>Pickup</i>	0,6
		<i>Time Dial</i>	0,4
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	4,4
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay 70, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse Time</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 xCT Sec
		<i>Pickup</i>	0,48
		<i>Time Dial</i>	0,25
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	7
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay 78, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse Time</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 xCT Sec
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	8,5

<b>Relay ID &amp; Model</b>	<b>CT Ratio</b>	<b>Setting</b>	
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	6,7
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
50/51-TSTG1-I, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 80	1600 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,46
		<i>Time Dial</i>	0,75
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	1,34
		<i>Time Delay</i>	0,3 s
50/51-TSYN-O, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,69
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	3,3
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay79, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 1	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x CT Sec
		<i>Pickup</i>	0,51
		<i>Time Dial</i>	0,27
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	4
		<i>Time Delay</i>	0,1
Relay80,	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>

<b><i>Relay ID &amp; Model</i></b>	<b><i>CT Ratio</i></b>	<b><i>Setting</i></b>	
MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	0,65
		<i>Time Dial</i>	0,3
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	4
		<i>Time Delay</i>	0,1 s
Relay10, MODEL : Merlin Gerlin Sepam 2000	2000 : 5	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
		<i>Pickup Range</i>	0,05 – 2,4 x <i>CT Sec</i>
		<i>Pickup</i>	1,05
		<i>Time Dial</i>	12
		<i>Instantaneous Pickup Range</i>	1 – 31 x51
		<i>Pickup</i>	5,83
		<i>Time Delay</i>	0,1 s

Hasil Kurva TCC dan *tripping sequence* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

## 1. Kurva TCC Setelah Penambahan 2 SFCL pada Case A

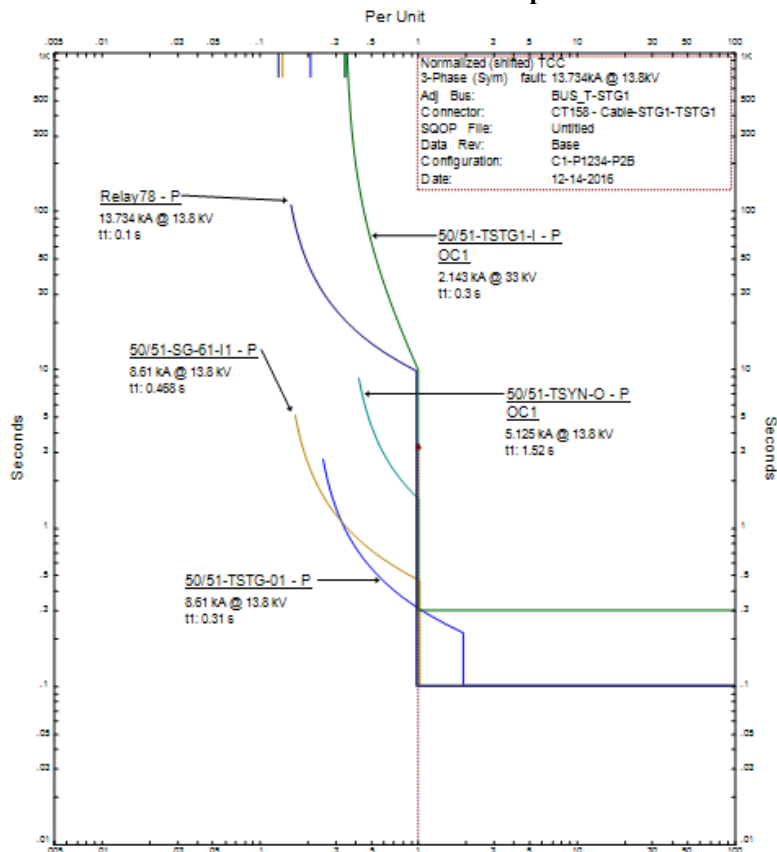


**Gambar 4.35** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada Case A

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 70 dan 78 aktif 0,1s kemudian rele 50/51-TSTG-01 dan rele 50/51-TSTG1-I kerja pada waktu 0,3s dan 0,31s, apabila rele tersebut tidak kerja maka rele 50/51-SG-61-I1 dan rele 50/51-TSYN-O rele masing-masing kerja pada 0,46s dan 1,52s sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case A sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

## 2. Kurva TCC Setelah Penambahan 2 SFCL pada Case B



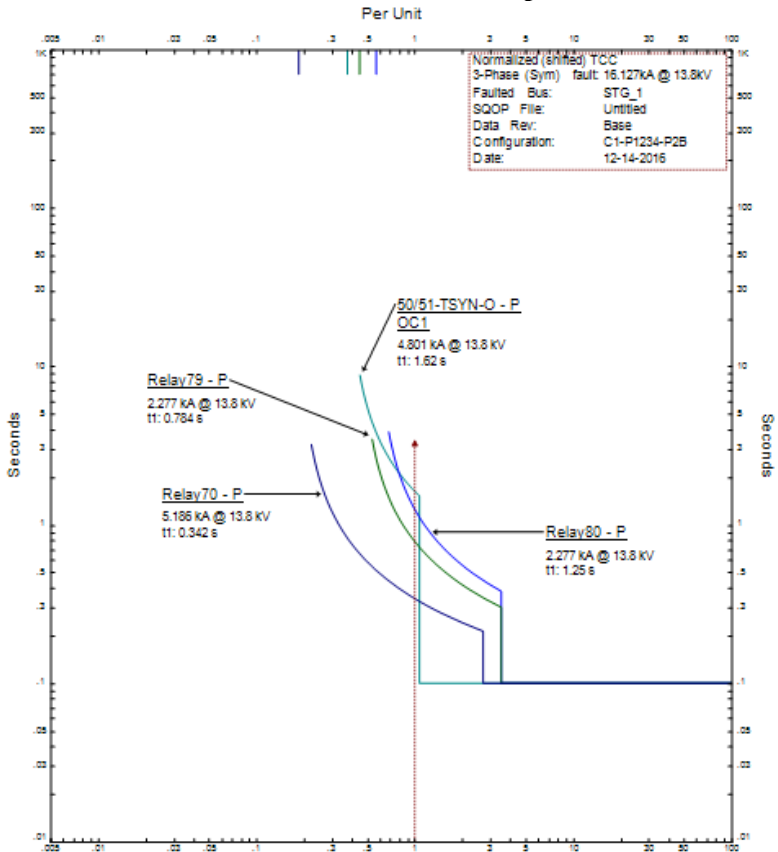
**Gambar 4.36** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada Case B

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 70 kerja 0,1s kemudian rele 78 aktif 0,1s. Rele 50/51-TSTG-01 dan rele 50/51-TSTG1-I kerja pada waktu 0,31s dan 0,3s kerja sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case B sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.



### 3. Kurva TCC Setelah Penambahan 2 SFCL pada Case C

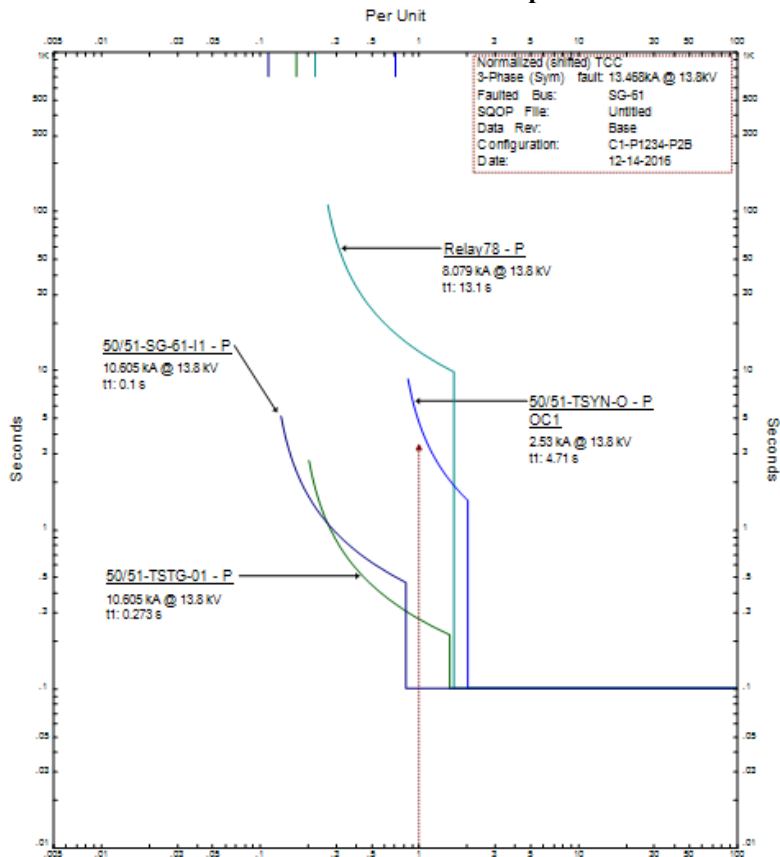


**Gambar 4.37** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada Case C

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 10 kerja 0,1s kemudian rele 70 kerja pada 0,34s dan rele 79 kerja pada waktu 0,7s, apabila rele tersebut gagal kerja maka rele 80 dan rele 50/51-TSYN-O rele masing-masing kerja pada 1,25s dan 1,6s sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case C sudah bagus, rele primer maupun rele *backup* kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

#### 4. Kurva TCC Setelah Penambahan 2 SFCL pada Case D

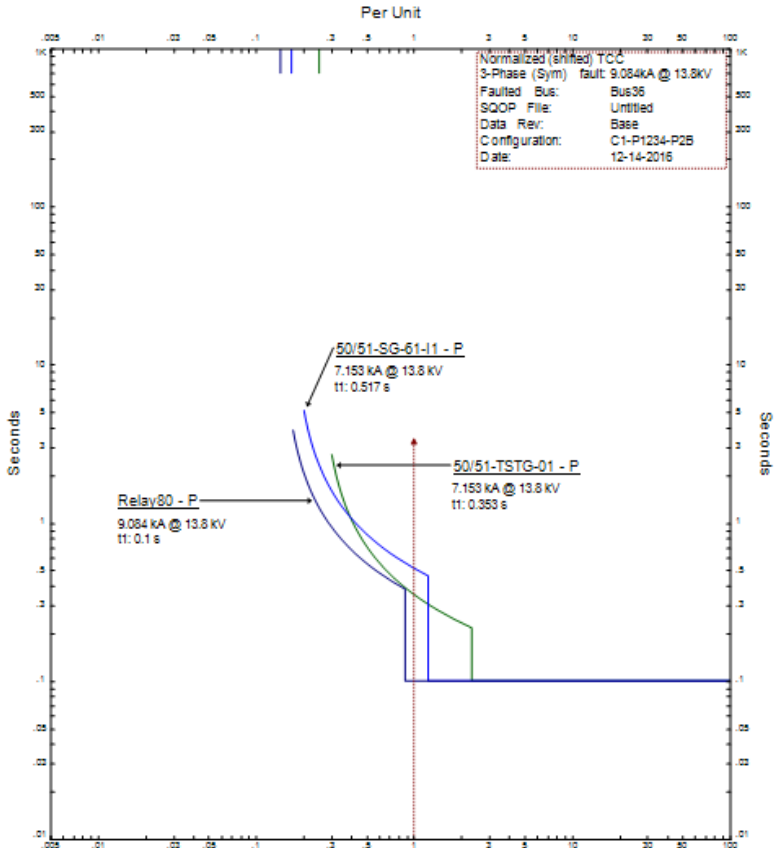


**Gambar 4.38** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada Case D

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 79 kerja 0,1s dengan *backup* rele 80. Kemudian rele 50/51-SG-61-I1 kerja pada waktu 0,1s, apabila rele tersebut gagal kerja maka rele 50/51-TSTG-01 dan rele 50/51-TSYN-O masing-masing kerja pada 0,27s dan 4,7s sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case A sudah bagus, rele primer maupun rele *backup* kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

## 5. Kurva TCC Setelah Penambahan 2 SFCL pada Case E

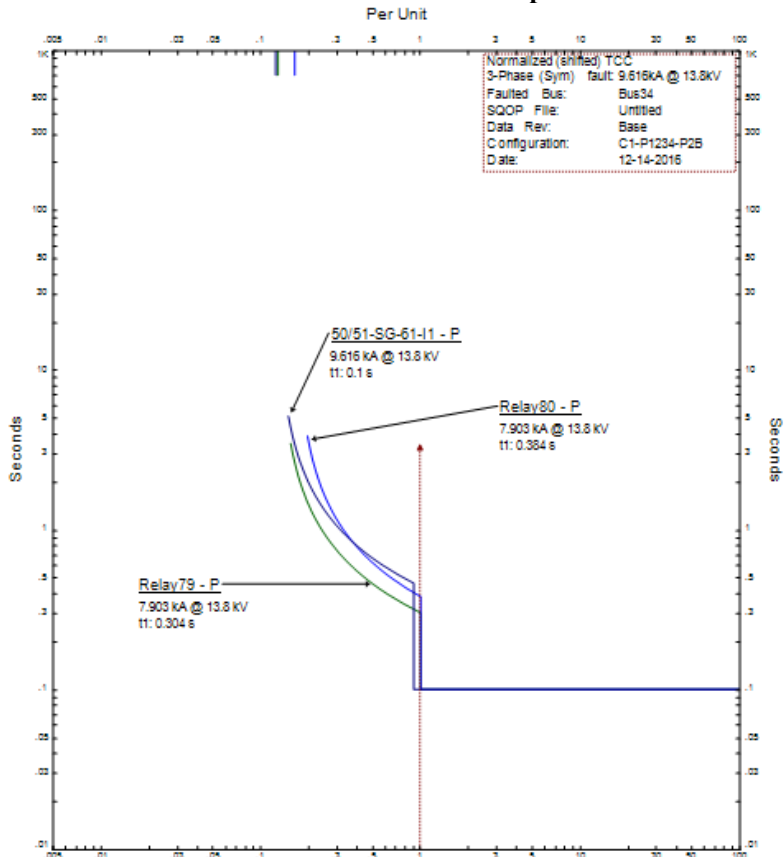


**Gambar 4.39** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada Case E

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 79 kerja 0,1s kemudian rele 80 kerja 0,1s. Rele 50/51-SG-61-I1 dan rele 50/51-TSTG-01 kerja pada waktu 0,51s dan 0,35s sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case A sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

## 6. Kurva TCC Setelah Penambahan 2 SFCL pada Case F



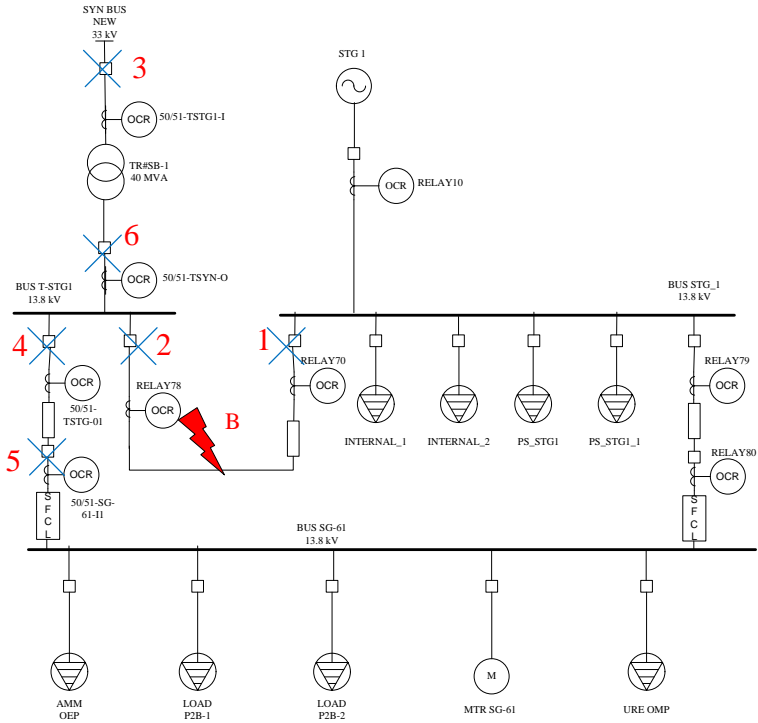
**Gambar 4.40** Kurva TCC Kerja Rele Setelah Pemasangan 2 SFCL pada Case F

Dari plot kurva rele diatas dapat disimpulkan:

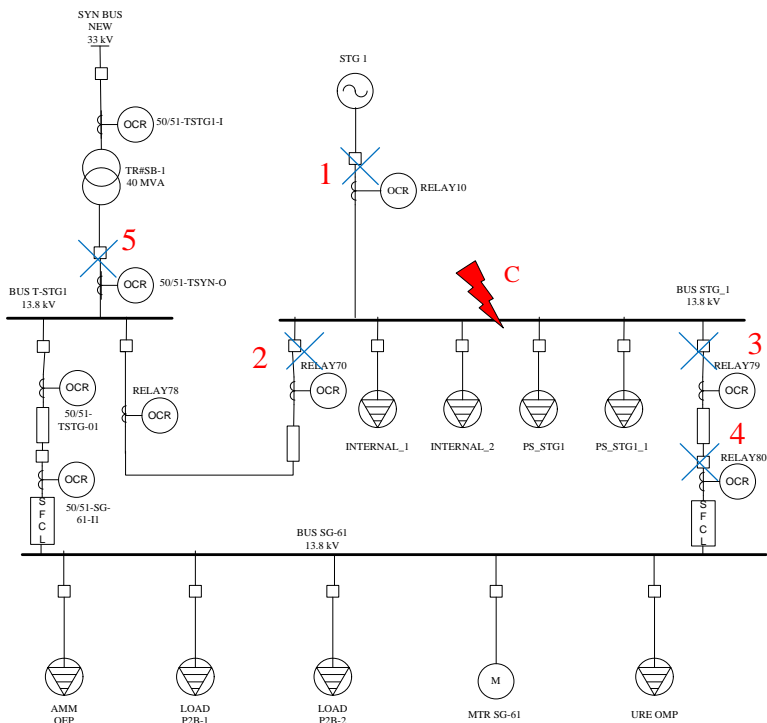
Ketika terjadi hubung singkat 3 fasa Rele primer yaitu rele 50/51-TSTG-01 kerja 0,1s dilanjutkan rele 50/51-SG-61-I1 kerja 0,1s. Rele 79 kerja pada waktu 0,3s dan rele 80 kerja 0,38s sebagai *backup*. Untuk hasil *setting* ulang rele pada case A sudah bagus, rele primer maupun rele backup kerja dengan baik dalam mengamankan sistem saat terjadi gangguan.

Simulasi *tripping sequence* yang kedua dilakukan setelah *setting* ulang rele pada *fault case* yang telah ditentukan dengan penambahan 2 *Hybrid SFCL*. Hal ini dilakukan untuk melihat kerja dari rele primer dan *backup* dengan benar atau tidak.

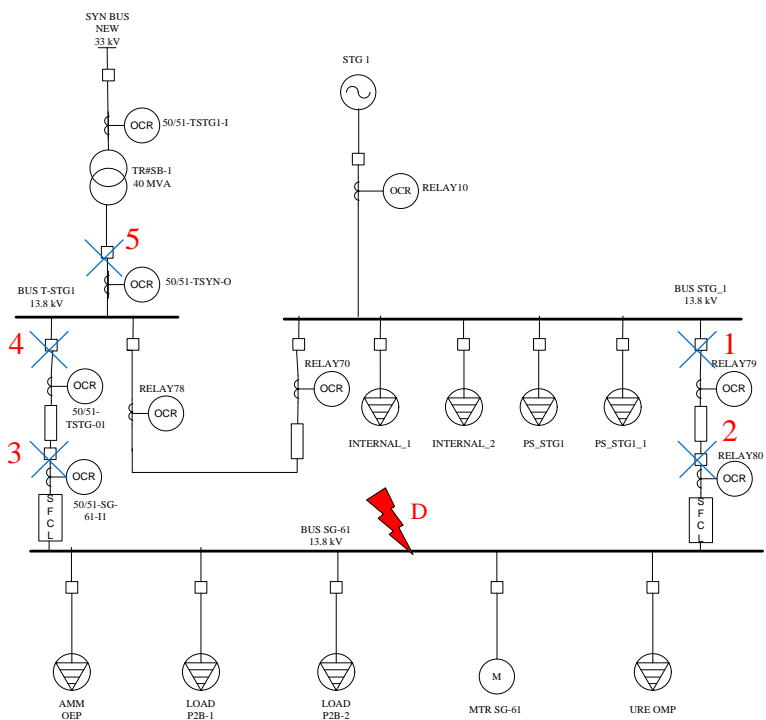




(b) Case B



(c) Case C



(d) Case D







## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa penggunaan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada sistem proteksi di PT. PUSRI IIB, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketika diberi gangguan didalam jaringan *Ring* di PT. PUSRI IIB, sebelum dipasang *Hybrid* SFCL, terjadi kesalahan koordinasi yaitu di *Busbar* maupun *feeder* penghubung antar *Busbar*. Ketika dipasang *Hybrid* SFCL kerja rele menjadi sesuai pada titik terjadi gangguan serta keandalan sistem meningkat.
2. Sebelum dilakukan pemasangan *Hybrid* SFCL, saat gangguan antara Bus SG-61 dengan Bus STG1 nilai arus kontribusi pada Bus T-STG1 dengan SG-61 sebesar 16,98kA sedangkan setelah dilakukan pemasangan *Hybrid* SFCL nilai arus kontribusi menjadi 7,15Ka.
3. Sebelum dilakukan pemasangan *Hybrid* SFCL, saat gangguan antara Bus SG-61 dengan Bus T-STG1 nilai arus kontribusi pada Bus STG1 dengan SG-61 sebesar 21,46kA sedangkan setelah dilakukan pemasangan *Hybrid* SFCL nilai arus kontribusi menjadi 8Ka.
4. Pemasangan *Hybrid* SFCL diletakkan pada *feeder* antara Bus STG1 dengan SG-61 dan Bus T-STG1 dengan SG-61 karena memiliki nilai arus hubung singkat yang besar dan karena nilai arus kontribusi yang hampir sama dengan ketika ada gangguan di Bus T-STG1 dan STG1 sehingga sulit untuk mengkoordinasi rele arus lebih.
5. Nilai resistansi SFCL yang digunakan adalah *Hybrid* SFCL dengan sebesar  $0,3\Omega$ . Superkonduktor pada *Hybrid* SFCL difungsikan sebagai media switch arus hubung singkat menuju *Current Limiting Reactor* (CLR) dengan memanfaatkan kenaikan impedansi dari superkonduktor.

## **RIWAYAT PENULIS**



Penulis memiliki nama lengkap Erwin Dwi Purwandani. Lahir di Blitar pada tanggal 11 Mei 1993. Penulis mengawali pendidikan di SDN 2 Tangkil, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Wlingi pada tahun 2005. Setelah lulus dari SMP, pada tahun 2008 penulis melanjutkan pendidikannya ke SMAN 1 Garum. Kemudian setelah lulus dari SMA pada tahun 2011, penulis melanjutkan studi yang lebih tinggi yakni Diploma III Elektro komputer kontrol Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Setelah lulus tahun 2014 dengan memegang gelar AMd penulis melanjutkan studi sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

6. Waktu *switch* yang dibutuhkan superkonduktor adalah 0.001s sedangkan waktu operasi yang dibutuhkan untuk mereduksi arus hubung singkat sebesar 0.002s.
7. Penambahan *Hybrid SFCL* mengakibatkan nilai arus hubung singkat menurun sehingga membantu dalam koordinasi ulang proteksi di jaringan PT. PUSRI IIB.
8. Pemasangan *Hybrid SFCL* sebagai pengaman adalah cara yang tepat karena tidak perlu mengganti kapasitas *Current Transformer*(CT) pada jaringan yang terhubung di PT. PUSRI IIB.

## **5.2. Saran**

1. Diharapkan studi ini dapat dikembangkan dengan menggunakan software lain dan dengan metode lain agar didapat hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R Wahyudi, Ir, *Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, 2008
- [2] Ontoseno Penangsang. Prof, *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga 2*, 2008
- [3] Steven M. Blair, Current–Time Characteristics of Resistive Superconducting Fault Current Limiters in *IEEE Trans. Appl. Supercond*, Vol.22, No. 2, APRIL 2012
- [4] Hyun, Ok-Bae, *Introduction of a Hybrid SFCL in KEPCO Grid and Local Points at Issue*, in *IEEE Trans. Appl. Supercond*, Vol.19, No. 3, JUNE 2009
- [5] Lim, Sung-hun, *Analysis on Protection Coordination of Hybrid SFCL With Protective Devices in a Power Distribution System*, in *IEEE Trans. Appl. Supercond*, Vol.21, No. 3, JUNE 2011
- [6] Hyun, Ok-Bae, *Current–Time Characteristics of Resistive Superconducting Fault Current Limiters*, in *IEEE Trans. Appl. Supercond*, Vol.22, No. 2, APRIL 2012
- [7] B. W. Lee, K. B. Park, J. Sim, *Study and Experiments of Novel Hybrid Type Superconducting Fault Current Limiters*, in *IEEE Trans. Appl. Supercond*, Vol.18, No. 2, JUNE 2008
- [8] American National Standards Institute, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System, *IEEE Std 242-1986*
- [9] Lazar.Irwin , *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plants*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*